
Dichtungssysteme an Querbauwerken im Deich

Seals between dikes and building structures through the dike line

Bachelor-Thesis

Tobias Schilling | 2112404

Fachbereich Bau- und Umweltingenieurwissenschaften

Institut für Wasserbau und Wasserwirtschaft

Technische Universität Darmstadt



TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
DARMSTADT

Tobias Schilling
Matrikelnummer: 2112404
Studiengang: B.Sc. Umweltingenieurwissenschaften

Bachelor-Thesis
Dichtungssysteme an Querbauwerken im Deich
Seals between dikes and building structures through the dike line

Tag der Einreichung: 21. April 2017

Betreuer:
Sirko Lehmann, M.Sc.

Fachbereich Bau- und Umweltingenieurwissenschaften
Institut für Wasserbau und Wasserwirtschaft
Franziska-Braun Straße 7
64287 Darmstadt

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis	v
Tabellenverzeichnis.....	vi
1 Einführung.....	1
2 Grundlagen.....	2
2.1. Deiche als Hochwasserschutzmaßnahme	2
2.2. Dichtungssysteme im Deich	3
2.3. Bauliche Anlagen im Deichquerschnitt	5
3 Dichtungsanschlüsse und ihre Anwendungsmöglichkeiten	7
3.1. Direktanschlüsse	8
3.1.1. Bauwerksgestaltung	8
3.1.2. Dichtungsplomben	10
3.1.3. Anschlusskonsolen	12
3.1.4. Klemmverbindungen	17
3.2. Übergangsdichtungen	19
3.2.1. Injektionsmaßnahmen.....	19
3.2.2. Düsenstrahlverfahren	21
3.2.3. Eingestellte Spundbohle	22
4 Vergleich und Bewertung der Dichtungsanschlüsse.....	25
4.1. Erarbeitung der Kriterien	27
4.2. Bauwerksgestaltung.....	28
4.3. Dichtungsplomben	29
4.4. Anschlusskonsolen.....	31
4.5. Klemmverbindungen.....	33
4.6. Injektionsmaßnahmen	34
4.7. Düsenstrahlverfahren	36
4.8. Eingestellte Spundbohle	38
4.9. Zusammenstellung der Ergebnisse	39
5 Erprobungsmöglichkeiten im wasserbaulichen Forschungslabor	41
5.1. Ausgangssituation und Laborparameter.....	41
5.2. Einschränkungen und allgemeine Überlegungen.....	41
5.3. Erprobungsmöglichkeiten der Anschlusskonstruktionen	43
5.3.1. Bauwerksgestaltung	43
5.3.2. Dichtungsplomben	43
5.3.3. Anschlusskonsolen	43
5.3.4. Klemmverbindungen	44
5.3.5. Injektionsmaßnahmen.....	44
5.3.6. Düsenstrahlverfahren	45
5.3.7. Eingestellte Spundbohle	45
5.3.8. Zusammenstellung der Ergebnisse.....	46
6 Fazit	47
Literaturverzeichnis.....	49
Anhang A - Abbildungen.....	vii
Anhang B - Begriffe	xii

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1:	Beispiel für einen homogenen Deichquerschnitt (Stützkörper (St) auf Untergrund (U) mit landseitigem Deichverteidigungsweg (DVW)).....	2
Abbildung 2:	Beispiel für einen zonierten Deichquerschnitt.....	3
Abbildung 3:	Innendichtung mit Anbindung an einen gering durchlässigen Untergrund (vollkommene Dichtung).....	4
Abbildung 4:	Oberflächendichtung mit Dichtungsteppich (DT) im Vorland (unvollkommene Dichtung).....	4
Abbildung 5:	Beispiel für eine geneigte Kontaktfläche im Anschlussbereich.....	9
Abbildung 6:	Beispiel für die Anwendung eines Dichtungskeils.....	10
Abbildung 7:	Anschluss einer GTD an eine Leitung mittels einer Dichtungsplombe.....	11
Abbildung 8:	Anschluss einer KDB an eine Betonwand mittels eines einbetonierten Anschweißprofils.....	12
Abbildung 9:	Anschluss einer KDB an ein bestehendes Betonbauwerk mittels eines Klebestreifens.....	13
Abbildung 10:	Anschlusskonsole mit Dehnungsschlaufe und Schleppstreifen.....	14
Abbildung 11:	Anbindung einer KDB an ein Betonrohr mittels eines Betonkragens.....	15
Abbildung 12:	Anbindung einer KDB an ein PE-Rohr mittels eines PE-Rohrkragens.....	15
Abbildung 13:	Anbindung einer GTD an ein PE-Rohr mittels eines PE-Rohrkragens.....	16
Abbildung 14:	Anschluss einer Spundwand an eine Leitung mittels einer Konsole.....	16
Abbildung 15:	Anschluss einer Dichtungsbahn an eine Betonwand mittels einer Klemmverbindung.....	17
Abbildung 16:	Anschluss einer Dichtungsbahn an eine Leitung mittels einer Klemmverbindung.....	18
Abbildung 17:	Anschluss einer Dichtwand an eine Bauwerkswand mittels einer Injektion..	20
Abbildung 18:	Anschluss einer Spundbohle an ein neu zu errichtendes Betonbauwerk mittels einer einbetonierten U-Bohle.....	23
Abbildung 19:	Anschluss einer Spundbohle an ein vorhandenes Betonbauwerk mittels einer angedübelten U-Bohle.....	23
Abbildung 20:	Anschluss einer Spundbohle an ein neu zu errichtendes Betonbauwerk mittels eines Fugenbandes.....	24

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Ausgangssituationsspezifische Zusammenstellung möglicher Anschlüsse	26
Tabelle 2: Bewertung der Anschlusskonstruktionen anhand der ermittelten Kriterien.....	40
Tabelle 3: Erprobungsmöglichkeiten in der wasserbaulichen Versuchsrinne.....	46

1 Einführung

Dichtungssysteme haben im Deichbau eine zentrale Bedeutung. Sie reduzieren die hydraulische Belastung auf den Deichkörper und gewährleisten damit die Standsicherheit. Neben den oftmals zusätzlich eingebauten Drän-, Filter- und Schutzschichten ist die Dichtung an sich der wesentliche Bestandteil dieser Systeme. Wenn Bauwerke, so genannte Querbauwerke, den Deich kreuzen, muss diese Dichtung meist unterbrochen werden. Diese Übergangsbereiche zwischen Dichtung und Querbauwerk sind eine potenzielle Schwachstelle des Deichs. Deshalb ist es von entscheidender Bedeutung, die Dichtung so an das jeweilige Querbauwerk anzuschließen, dass sich an der Kontaktfläche kein bevorzugter Sickerweg ausbilden kann.

Da in der Literatur nur vereinzelt Hinweise und Gestaltungsdetails zur Ausführung der Dichtungsanschlüsse an Bauwerke zu finden sind, besteht das Ziel dieser Arbeit darin, einen Überblick über die möglichen Anschlusskonstruktionen zu geben. Hierfür wurden neben Literatur über den Deichbau zusätzlich Quellen aus den Bereichen der Wasserstraßen, des Grundbaus, der Ufereinfassungen sowie entsprechende DIN-Normen hinzugezogen. Darüber hinaus wurde der Kontakt zum Ingenieurbüro BGS Wasserwirtschaft GmbH mit Sitz in Darmstadt hergestellt. Auf diese Weise konnten einzelne in den Recherchearbeiten ermittelte Techniken und Werte bestätigt und neue Erkenntnisse gewonnen werden. Auch ein Einblick in Anwendungsfälle aus der Praxis war somit möglich. Das Resultat der Recherchen ist eine umfangreiche Liste von Konstruktionen, die für die Anbindung von den im Deichbau eingesetzten Dichtungen an verschiedene Querbauwerke verwendet werden können.

Um die ermittelten Anschlusskonstruktionen einordnen zu können und eine Basis für spätere Beurteilungen zu schaffen, werden nachfolgend Bewertungskriterien definiert. Diese werden am Leitfaden eines möglichen Planungsprozesses erarbeitet. Anhand dieser Kriterien wird anschließend eine Bewertung durchgeführt und so die Grundlage für einen Vergleich der einzelnen Konstruktionen untereinander geschaffen. Diese werden unter den Gesichtspunkten der jeweiligen Kriterien im Rahmen einer fünfgliedrigen Skala bewertet und auf diese Weise im Verhältnis zu den anderen in dieser Arbeit vorgestellten Anschlusskonstruktionen eingeordnet. Eine abschließende Tabelle fasst das Ergebnis zusammen und kann bei der Planung entsprechender Maßnahmen als eine Orientierungshilfe dienen.

Als Vorbereitung zukünftiger Modellversuche werden abschließend Überlegungen zu den Erprobungsmöglichkeiten im wasserbaulichen Forschungslabor der TU Darmstadt angestellt. Dort steht eine hydraulisch regelbare Versuchsrinne für den Aufbau eines Deichmodells zur Verfügung. Um die Rahmenbedingungen zu klären, wird zunächst die Laborsituation beschrieben und auf die durch die Rinne vorgegebenen Einschränkungen eingegangen. Unter Beachtung dieser Voraussetzungen werden in der Folge die Möglichkeiten für die einzelnen Anschlusskonstruktionen abgewogen.

2 Grundlagen

Dieses Kapitel legt Grundlagen des Deichbaus dar, sofern diese für die Erarbeitung der Aufgabenstellung relevant sind. Im Laufe des Kapitels werden mögliche Gefahren für die Deichstandsicherheit im Bereich von Querbauwerken herausgearbeitet. Auf diese Weise wird der Bogen zur eigentlichen Problemstellung gespannt.

2.1. Deiche als Hochwasserschutzmaßnahme

Ein Deich ist ein Erdbauwerk, das zum Schutz des Hinterlandes vor Hochwasser errichtet wird. Im Gegensatz zu Dämmen sind Deiche nur zeitweilig eingestaut. Deiche sind an die regionalen Gegebenheiten angepasst zu errichten und den zu erwartenden Beanspruchungen entsprechend zu dimensionieren.¹

Hierbei sei zum einen angemerkt, dass zukünftige Hochwasserstände nicht mit letztendlicher Sicherheit vorausgesagt werden können. Folglich wird durch Deiche lediglich die Schadenshäufigkeit durch Hochwasser reduziert. Eine Kosten-Nutzen-Betrachtung ist zweckmäßig. Zum anderen erzielen Deiche keine vollkommene Dichtwirkung. Landseitig ist demnach, in Abhängigkeit von der Hochwassersituation und der Deichbauweise, mit Sickerwasser zu rechnen.²

Die Wahl des Deichquerschnittes ist immer von den örtlichen Gegebenheiten abhängig. Ein allgemein gültiges Regelprofil kann demnach nicht angegeben werden. Grundsätzlich kann nach DIN 19712 in homogene Deiche und zonierte Deiche unterschieden werden.

Homogene Deiche

Der Querschnitt besteht im Wesentlichen aus nur einem Erdbaustoff, welcher direkt an den Untergrund angrenzt. Er wirkt gleichermaßen als Stützkörper und als Dichtung. Folglich kommen nur bindige Böden in Frage. Anfallendes Sickerwasser ist abzuleiten.

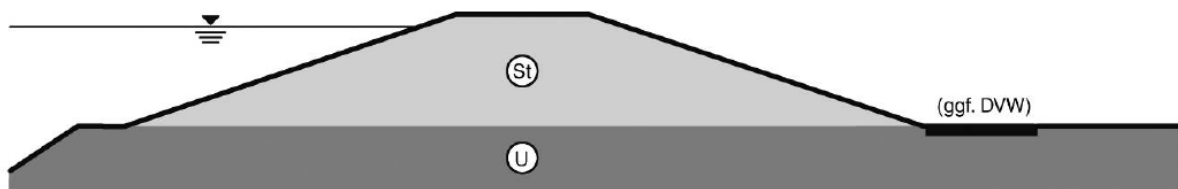


Abbildung 1: Beispiel für einen homogenen Deichquerschnitt (Stützkörper (St) auf Untergrund (U) mit landseitigem Deichverteidigungsweg (DVW))³

¹ DIN 19712, 2013, S. 15.

² DWA-M 507-1, 2011, S. 10.

³ DWA-M 507-1, 2011, S. 18.

Zonierte Deiche

Als zonierte Deiche werden Deiche bezeichnet, die aus mehreren Querschnittselementen bestehen. Diese sind in der Regel ein Stützkörper, ein Dränkörper, der den Austritt von Sickerwasser an der luftseitigen Deichböschung verhindern soll, und eine Dichtung für den Abbau des hydraulischen Potenzials (siehe Abbildung 2).⁴

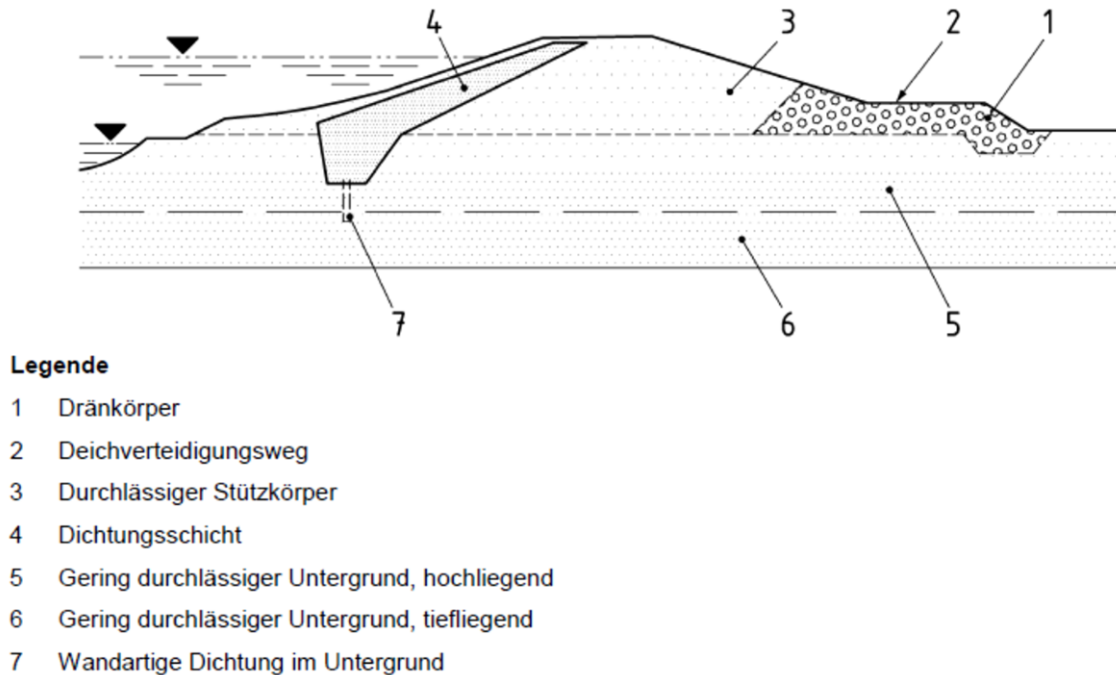


Abbildung 2: Beispiel für einen zonierten Deichquerschnitt⁵

Dies sind lediglich exemplarische Darstellungen möglicher Deichquerschnitte. Weitere Elemente können hinzukommen, werden im Rahmen dieser Arbeit jedoch nicht behandelt. Im folgenden Abschnitt werden Dichtungssysteme in zonierten Deichen genauer beschrieben.

2.2. Dichtungssysteme im Deich

Eine Dichtung hat die Funktion, die Belastung durch Sickerströmung auf den hinter der Dichtung liegenden Stützkörper zu reduzieren. Damit wird die Standsicherheit des Deiches erhöht und der Sickerwasserandrang an der Luftseite vermindert. Hierfür werden Materialien mit geringer hydraulischer Durchlässigkeit eingebaut. Diese kann durch den Durchlässigkeitsbeiwert k_f beschrieben werden. Nach DIN 4048-1 wird entsprechend der Lage im Querschnitt zwischen Innendichtungen und Oberflächendichtungen unterschieden. Dichtungen sind im Deich so weit nach oben zu führen, wie es technisch möglich ist - zumindest aber bis über den Stand des Bemessungshochwassers. Die größte Wirksamkeit wird erzielt, wenn sie an Untergrundschichten mit geringer Durchlässigkeit anbinden (siehe Abbildung 3). In diesem Fall wird von vollkommenen Dichtungen gesprochen.⁶ Hierbei darf allerdings der natürliche Aus-

⁴ DIN 19712, 2013, S. 25.

⁵ DIN 19712, 2013, S. 25.

⁶ Haselsteiner, 2007b, S. 84.

tausch zwischen Grundwasser und Gewässer nicht entscheidend verändert werden. Ist eine Untergrundanbindung nicht realisierbar, können Maßnahmen zur Verlängerung des Sickerweges ergriffen werden. Oberflächendichtungen sind beispielsweise um einen Dichtungsteppich im Vorland (siehe Abbildung 4) oder eine in den Untergrund reichende Dichtwand am Deichfuß erweiterbar. Bezüglich letzterer Maßnahme ist jedoch zu berücksichtigen, dass es durch die Einschnürung der Strömungsfläche im Grundwasserleiter lokal zu großen Strömungsgeschwindigkeiten kommen kann. Suffosionsprozesse im Untergrund können die Folge sein.⁷

Innendichtung

Eine Innendichtung ist meist in der Mitte des Deichquerschnittes angeordnet und somit gut vor äußeren Einwirkungen geschützt. Sie kann vertikal oder schrägliegend eingebracht werden. Innendichtungen können statisch wirksam sein und auch nachträglich im Zuge einer Sanierungsmaßnahme in den Deichkörper eingebracht werden. Verwendet werden überwiegend Spundwände, Schmalwände, Schlitzwände, Injektionswände sowie mineralische Dichtungen aus natürlichen, gering durchlässigen Böden und Bodenvermörtelungsverfahren.⁸

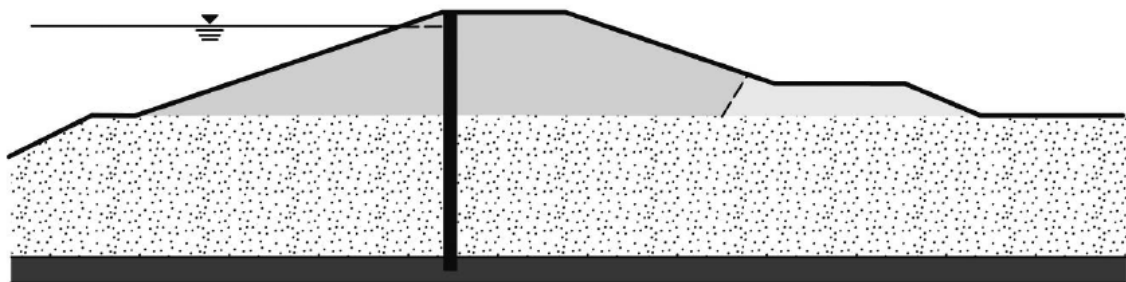


Abbildung 3: Innendichtung mit Anbindung an gering durchlässigen Untergrund (vollkommene Dichtung)⁹

Oberflächendichtung

Eine Oberflächendichtung ist an der wasserseitigen Böschung angeordnet und liegt auf dem Stützkörper auf. Sie ist vor äußeren Einwirkungen (z. B. Wühltiere, Durchwurzelung und Frost) durch eine ausreichend mächtige Deckschicht zu schützen. Im Deichbau sind geosynthetische Tondichtungsbahnen (im Folgenden: GTD), auch als Bentonitmatten bezeichnet, und mineralische Dichtungen (Lehm, Ton) als Oberflächendichtungen üblich.¹⁰

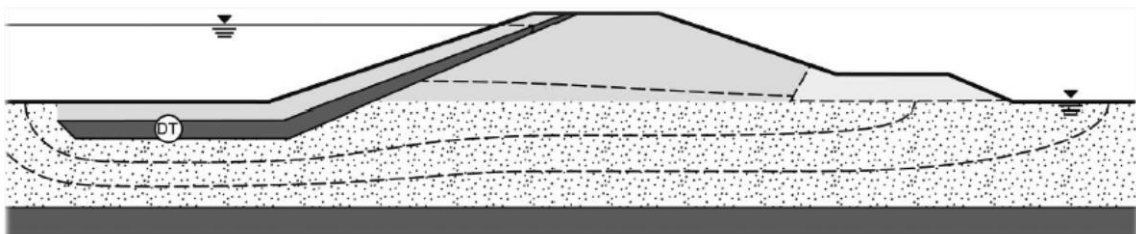


Abbildung 4: Oberflächendichtung mit Dichtungsteppich (DT) im Vorland (unvollkommene Dichtung)¹¹

⁷ DWA-Themen, 2005, S. 18 – 29.

⁸ DWA-M 507-1, 2011, S. 23 – 25.

⁹ DWA-M 507-1, 2011, S. 22.

¹⁰ DWA-Themen, 2005, S. 20 – 23.

¹¹ DWA-M 507,1, 2011, S. 22.

Anzumerken ist, dass grundsätzlich im Wasserbau nach DIN 19700-10 neben oben genannten Stoffen auch Asphalt- und Betonoberflächendichtungen zum Einsatz kommen. Im Deichbau finden diese aus wirtschaftlichen oder landschaftsgestalterischen Gründen jedoch kaum Anwendung. Technische und wirtschaftliche Kriterien liefern Anhaltspunkte für die Auswahl einer geeigneten Dichtung, obgleich folgende Anforderungen immer erfüllt sein müssen.

Anforderungen¹²

Dichtungssysteme in Deichen müssen

- über eine ausreichend geringe Permittivität ψ verfügen,
- suffosions- und erosionsicher (innere und äußere Erosion) sein,
- Verformungen der Umgebung schadlos aufnehmen können,
- Alterungs- und Langzeitbeständigkeit aufweisen sowie
- witterungsbeständig (Hitze, Frost, etc.) sein.

Darüber hinaus sind für die Wahl einer Dichtung unterschiedliche wirtschaftliche und technische Gesichtspunkte (z. B. Zugänglichkeit, Bauzeit und Einheitskosten pro Quadratmeter) relevant.¹³ Eine Liste mit den wichtigsten Kriterien ist in Anhang A.3 zu finden. In Abhängigkeit von der spezifischen Situation müssen zusätzliche Beeinträchtigungen der Eigenschaften der Dichtung durch mechanische, chemische und biologische Einflüsse aus der Umgebung beachtet werden.

Neben der Wirksamkeit der Dichtung in der Fläche gilt es, bestimmte Bereiche genauer zu betrachten. Entscheidend für den Erfolg einer Abdichtung sind die Übergänge zwischen einzelnen Dichtungsbahnen, der Übergang von einer Dichtung auf die nächste und die Anschlüsse der anstehenden Dichtung an bauliche Anlagen, die den Deichquerschnitt kreuzen. Im folgenden Abschnitt wird genauer auf den Kontaktbereich zwischen Deichkörper und Querbauwerk eingegangen.

2.3. Bauliche Anlagen im Deichquerschnitt

„Im Deich sind Bauwerke Fremdkörper, die nur geduldet werden sollten, wo sie unvermeidbar sind.“¹⁴ Unvermeidbar kann ein Querbauwerk unter verschiedenen Gegebenheiten sein. Verbreitete Beispiele hierfür sind: Siele, die im Zuge von Binnenentwässerungen errichtet werden; Deichscharten, die nötig werden, wenn eine Überführung von den Deich kreuzenden Verkehrswegen nicht möglich ist; oder auch Leitungen, die unter bestimmten Umständen durch den Deichkörper gelegt werden müssen.

Jede dieser baulichen Anlagen stellt einen Fremdkörper dar und birgt ein erhöhtes Schadensrisiko. Unterschiedliche Steifigkeiten zwischen Massivbauwerk und Deichkörper können zu Setzungs- und Verformungsdifferenzen führen. In der Kontaktzone bilden sich in der Folge

¹² DIN 19712, 2013, S. 47.

¹³ Ferrari, 2012, S. 894.

¹⁴ Arbeitskreis Flussdeiche, 1971, S. 60.

oftmals Risse, und bevorzugte Sickerwege entstehen.¹⁵ Sind sowohl die geometrischen als auch die hydraulischen Bedingungen für einen Materialtransport nach Busch et al. (1993) erfüllt, kommt es zu einer Umlagerung der Bodenteilchen.¹⁶ Bei Materialaustrag auf der Luftseite können sich als Folge der Erosions- und Suffosionsprozesse komplette Erosionsröhren zur Wasserseite hin ausbilden. Dieser Vorgang wird als rückschreitende Erosion (sog. „Piping“) bezeichnet und tritt vermehrt an Störstellen, wie beispielsweise dem Kontaktbereich zwischen Deich und Massivbauwerk, auf.¹⁷ Es kann zu örtlichem Versagen in Form von hydraulischem Grundbruch, Aufschwimmen oder Böschungsbruch kommen.¹⁸

Ein im Deich errichtetes Bauwerk ist deshalb auf Umläufigkeiten und Unterläufigkeiten zu untersuchen.¹⁹ Einen Überblick über entsprechende Nachweisverfahren gibt Saucke (2006). Eine schematische Vorgehensweise liefert das Merkblatt der Bundesanstalt für Wasserbau BAW MSD (2011).

Neben den zu führenden Nachweisen ist es in vielen Fällen nötig, gesonderte technische Maßnahmen zur Abdichtung des Kontaktbereiches zu treffen. Im Folgenden werden hierfür mögliche Dichtungsanschlüsse an Querbauwerke vorgestellt.

¹⁵ BAW Merkblatt MSD, 2011, S. 23.

¹⁶ BAW Merkblatt MMB, 2013, S. 3.

¹⁷ DWA-M 507-1, 2011, S. 50.

¹⁸ BAW Merkblatt MSD, 2011, S. 19.

¹⁹ DIN 19661-1, 1998, S. 14.

3 Dichtungsanschlüsse und ihre Anwendungsmöglichkeiten

Inhalt dieser Arbeit sind Anschlussmöglichkeiten für Dichtungen, die im Deichbau Anwendung finden. Neben den in Abschnitt 2.2. unter Innendichtungen und Oberflächendichtungen genannten Dichtungen werden in seltenen Fällen auch Kunststoffdichtungsbahnen (im Folgenden: KDB) verwendet.²⁰ Auf diese wird deshalb ebenfalls eingegangen. Dementsprechend werden Anbindungen von mineralischen Oberflächen- und Innendichtungen, GTD, KDB, Spundwänden und Dichtwandmassen aus selbsthärtenden Suspensionen behandelt. Letztere umfassen Schlitz- und Schmalwände sowie Verfahren der tiefreichenden Bodenvermörtelung. Anschlüsse für im Bereich von Talsperren und Wasserstraßen eingesetzte Dichtungen wie Asphalt- und Betonoberflächendichtungen, Wasserbausteine mit Vollverguss und Asphalttinnendichtungen sind nicht Thema der vorliegenden Arbeit.

Im Allgemeinen sind einen Deich kreuzende Bauwerke gegen Unterläufigkeiten und Umläufigkeiten abzusichern.²¹ Folglich gilt es, zwischen den oben genannten Dichtungen und den Querbauwerken dichte Anbindungen herzustellen. Entsprechende Anschlussflächen ergeben sich unterhalb und seitlich der Bauwerke. Auch die Gefahr einer Überströmung muss gesondert beachtet werden. Damit eine Überströmung nicht im Bereich des Querbauwerkes einsetzt, sollte hier die Deichkrone im Vergleich zur anschließenden Deichstrecke um mindestens 20 cm erhöht werden.²² Auf diese Weise wird dem zusätzlichen Aufstau durch das Bauwerk Rechnung getragen.²³ Unterströmungen im Bereich des Bauwerkes können durch entsprechende vertikale Untergrunddichtungen eingeschränkt werden. Hierfür können unterschiedliche Dichtwände oder Injektionsmaßnahmen zum Einsatz kommen. Für die Anbindung von Dichtwänden an das Querbauwerk kann auf die im Abschnitt 3.2. vorgestellten Übergangsdichtungen zurückgegriffen werden. Injektionsmaßnahmen fallen unter diese Übergangsdichtungen. Sie binden schlüssig an das jeweilige Bauwerk an und benötigen daher keine weiteren Anschlusskonstruktionen.²⁴ Mit der seitlichen Anbindung einer Dichtung an Querbauwerke befassen sich die folgenden Abschnitte 3.1. und 3.2. Bei Leitungen ergibt sich die abzudichtende Fuge am gesamten Umfang. Entsprechende Anschlussmöglichkeiten werden in dieser Arbeit aus Gründen der Übersichtlichkeit ebenfalls bei den seitlichen Anbindungen aufgeführt.

Bezüglich der Ausbildung des Querbauwerkes werden im Folgenden drei Kategorien von Anschlussflächen unterschieden: Betonwände, Spundwände und Leitungen. Diese sind die gängigen Oberflächen von Querbauwerken, an welche Deiche angebunden werden müssen. Das Detail der günstigen Bauwerksgestaltung wird bei dieser Einteilung nicht berücksichtigt, da es keine Anbindung an eine dieser drei Anschlussflächen realisiert. Die vornehmliche Funktion der Bauwerksgestaltung besteht darin, die Anschlussfläche an sich zu verbessern. Die Anschlusskonstruktionen werden in dieser Arbeit in direkte Anbindungen der Dichtung an das Querbauwerk und zwischengeschaltete Dichtungen für den Übergangsbereich unterteilt.

²⁰ DWA-M 507-1, 2011, S. 84.

²¹ DIN 19661-1, 1998, S. 14.

²² Arbeitskreis Flussdeiche, 1971, S. 60 – 61.

²³ Brombach et al., 2013, S. 360.

²⁴ DWA-M 512-1, 2012, S. 66.

3.1. Direktanschlüsse

In diesem Abschnitt werden sowohl Maßnahmen aufgeführt, die es ermöglichen, Dichtungen direkt an das jeweilige Querbauwerk anzuschließen, als auch Bauwerksgestaltungen, die einen solchen Anschluss verbessern können. Mit Hilfe dieser Techniken werden überwiegend mineralische Oberflächen- und Innendichtungen sowie Dichtungsbahnen und Spundwände angeschlossen.

3.1.1. Bauwerksgestaltung

Im Zuge von Neubaumaßnahmen sollte auf eine günstige Gestaltung des Querbauwerkes geachtet werden. Durch entsprechende Maßnahmen kann die Anbindung der Dichtungsmaterialien an die Bauwerkswand verbessert werden. Die in diesem Abschnitt genannten Möglichkeiten sind im Deichbau für Anbindungen von mineralischen Oberflächen- und Innendichtungen an Betonwände gebräuchlich. Im Damm- und Talsperrenbau kommen sie ebenfalls für Asphalt- und Betondichtungen zum Einsatz. Für weitere Informationen sind hier die EAO (2002) und die EAAW (2008) heranzuziehen. Inwieweit die jeweiligen Vorkehrungen auf Spundwände und Leitungen anwendbar sind, war in der Literatur nicht immer ersichtlich und bleibt in diesen Fällen zu prüfen. Die nachfolgend beschriebenen Maßnahmen der Bauwerksgestaltung können mit weiteren Anschlusslösungen, wie beispielsweise mit Dichtungsplomben, kombiniert werden.

Geneigte Anschlussfläche

Durch eine vertikale Neigung der Außenwand kann der Deichkörper und das Dichtungsmaterial gut gegen die Schräge verdichtet werden (vgl. Abbildung 5). Kommt es zu Setzungen, so legt sich der Deich auf die Wandfläche auf, und ein dichter Verbund bleibt garantiert.²⁵ Darüber hinaus kann die Außenwand auch zur Wasserseite hin geneigt ausgebildet werden. So wird erreicht, dass der Erdkörper bei Hochwasser angepresst wird.²⁶ In der Literatur zu Dammbauwerken werden beispielhaft Neigungen von 10:1 angegeben.²⁷ Dieser Wert konnte auch für den Deichbau bestätigt werden.²⁸

Im Falle von Betonbauwerken lässt sich die Wandneigung über eine entsprechende Schalungskonstruktion realisieren. Spundwände werden in der Regel lotrecht eingebracht, können jedoch auch zur Landseite hin geneigt ausgeführt werden. Im See- und Hafenbau wurden bereits Neigungen bis 3,5:1 erzielt.²⁹ Für das hier aufgeführte Konstruktionsdetail der geneigten Anschlussfläche wäre jedoch eine Neigung der Spundwand zur Luftseite hin vonnöten. Inwieweit das statisch möglich ist, müsste fallspezifisch in Abhängigkeit von den Erddrücken und von sonstigen Lasten geprüft werden. Dies ist nicht Bestandteil dieser Arbeit. Aufgrund der Form von Leitungen erscheint das Konstruktionsdetail der geneigten Anschlussfläche hier irrelevant.

²⁵ DWA-M 512-1, 2012, S. 45.

²⁶ Haselsteiner, 2007a, S.7.

²⁷ LUBW, 2007, S. 26 und Haselsteiner, 2007a, S.7.

²⁸ Ingenieurbüro BGS Wasserwirtschaft.

²⁹ Richwien, 2009, S. 333.

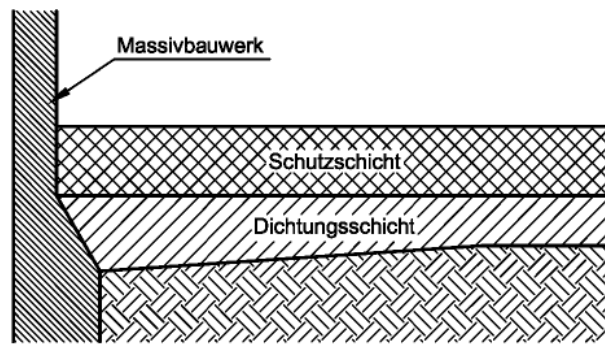


Abbildung 5: Beispiel für eine geneigte Kontaktfläche im Anschlussbereich³⁰

Sickerwegsverlängerung

Durch Maßnahmen der Sickerwegsverlängerung wird der hydraulische Gradient verringert und so die Strömungsbelastung des luftseitig liegenden Deichkörpers reduziert. Bei richtiger Dimensionierung der Maßnahme kann ein Materialtransport im Boden ausgeschlossen werden, und so können Erosions- und Suffosionsprozesse verhindert werden.³¹ Dies kann unter anderem durch die Ausbildung von Spornen und Krägen erfolgen. Für den Einbau der Dichtung im Bereich der Ausbuchtung ist die Verwendung von handgeführten Kleingeräten erforderlich.³²

Für Betonwände kann diese Maßnahme über eine entsprechende Schalung realisiert werden. Im Vergleich zum Bau einer glatten Wand ist jedoch der zusätzliche Arbeitsaufwand bei der Herstellung der Schalung zu beachten. Durch den wellenförmigen Aufbau einer typischen Spundwand kommt es im Vergleich zu einer ebenen Wand bereits zu einer Verlängerung des Sickerweges. Zur Verlängerung des Sickerweges an Leitungen können Krägen oder ähnliche Maßnahmen zum Einsatz kommen.³³

Oberflächenstruktur

Im Allgemeinen ist die Anschlussfläche immer gründlich zu säubern.³⁴ Darüber hinaus kann durch entsprechende Oberflächenstrukturen die Anbindung des Dichtungsmaterials an das Bauwerk verbessert werden.³⁵

Die Oberfläche einer Betonwand kann für eine bessere Anbindung aufgeraut werden. Denkbar ist hierfür die Verwendung einer aus dem Hausbau bekannten Noppenbahn in der Schalung des Querbauwerkes. Der Anschluss an eine wellenförmige Spundwand lässt sich aufgrund ihrer Geometrie durch Auffüllen der Spundwandtäler gut herstellen. Für Leitungen sind keine vergleichbaren Maßnahmen bekannt.

³⁰ DWA-M 512-1, 2012, S. 45.

³¹ DWA Themen, 2005, S. 18.

³² DWA-M 512-1, 2012, S. 101.

³³ DWA Themen, 2005, S. 22 f.

³⁴ DWA-M 512-1, 2012, S. 16.

³⁵ Ingenieurbüro BGS Wasserwirtschaft.

3.1.2. Dichtungsplomben

Mithilfe eines Dichtungskeils können mineralische Oberflächen- und Innendichtungen sowie GTD an Querbauwerke angeschlossen werden. Explizite Beispiele für eine entsprechende Anbindung einer KDB werden in der Literatur nicht aufgeführt. Oftmals sind für KDB und GTD jedoch vergleichbare Anschlusslösungen möglich.³⁶ Dementsprechend wird hier von einer Übertragbarkeit der für GTD angewandten Techniken auf KDB ausgegangen.

Bei diesem Dichtungsanschluss wird der kritische Kontaktbereich mit einer Plombe aus bindigem Boden, meist Ton, abgedichtet.³⁷ Erforderlich ist eine Konsistenz, die in gewissen Maßen den Verformungen der Bauteile folgen kann.³⁸ Die Ausführung kann beispielsweise entsprechend Abbildung 6 geschehen.

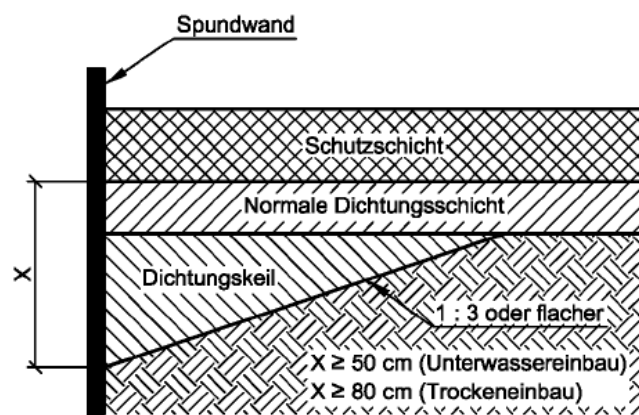


Abbildung 6: Beispiel für die Anwendung eines Dichtungskeils³⁹

Ein Dichtungskeil bewirkt eine Aufweitung der Dichtung im Kontaktbereich zum Querbauwerk und führt so zu einer Verlängerung des Sickerweges. Ferner kann auf diese Weise sichergestellt werden, dass sich bei Verformungen und Setzungen kein durchgehender Spalt ausbildet. Das Maß der geforderten Kontaktlänge hängt von der Festigkeit des verwendeten Dichtungsbaustoffes und den zu erwartenden Verformungen des Bauteils ab.⁴⁰

Bei dieser Anschlusskonstruktion macht es in der Literatur keinen signifikanten Unterschied, ob die Dichtung an eine Beton- oder eine Spundwand angebunden werden muss.⁴¹ Aus diesem Grund werden beide Bauwerkswände hier gemeinsam betrachtet.

Anschluss an Beton- und Spundwände

Für mineralische Dichtungen ist es üblich, Anschlüsse an Bauwerkswände mit einem Dichtungskeil auszuführen. Hierfür wird eine Tonplombe im Kontaktbereich angeordnet. An-

³⁶ EAO, 2002, S. 24.

³⁷ DWA Themen, 2005, S. 22 f.

³⁸ EAO, 2002, S. 22.

³⁹ DWA-M 512-1, 2012, S. 45.

⁴⁰ EAO, 2002, S. 22 – 26.

⁴¹ EAO, 2002, S. 20.

schließlich wird die Dichtung in der geforderten Dicke bis zur Wand aufgebracht.⁴² Für den Einbau im Trockenen ist eine Mindestkontaktlänge von 0,8 m nötig (siehe Abbildung 6). Bei hoher Festigkeit des Tones und bei zu erwartenden Verformungen des angrenzenden Bauteils sind die Kontaktbereiche gegebenenfalls noch zu verlängern. Beim Trockeneinbau sollte eine undrained Scherfestigkeit c_u von 50 kPa nicht überschritten werden.⁴³

Für den Anschluss von GTD an eine Bauwerkswand sind ebenfalls Kontaktlängen von mindestens 0,8 m zwischen Dichtungskeil und GTD und eine Überlappungslänge von 0,5 m zwischen Dichtungskeil und Bauteil gefordert. Bei Gefahr der Bildung eines Spaltes infolge von Verformungen der Wand ist die Kontaktstrecke gegebenenfalls zu verlängern.⁴⁴ Wird ein Anschluss an eine Spundwand hergestellt, so ist auch das Spundwandtal vollständig auszufüllen.⁴⁵

Dichtungsplomben können im Allgemeinen auch in Form eines Dichtungskragens, der über die gesamte Tiefe des Querbauwerkes geht, ausgeführt werden. Ein Beispiel aus der Praxis ist in Anhang A.2 dargestellt. In diesen Kragen kann die Dichtungsbahn mit ausreichender Überlappung eingebunden werden. Auch eine mineralische Dichtung kann in ihn münden.

Anschluss an Leitungen

Kreuzt eine Leitung den Deich, wird diese vollständig mit bindigem Boden umhüllt. Für die Anbindung an mineralische Dichtungen sind darüber hinaus noch weitere Maßnahmen zur Sickerwegsverlängerung erforderlich. Eine Möglichkeit ist die Anbringung eines Kragens um die Leitung.⁴⁶

Muss eine Leitung durch eine GTD geführt werden, wird die Dichtungsbahn kreuzförmig aufgeschlitzt und an die Plombe angeschlossen. Oberhalb der GTD wird diese mit dem für die Plombe verwendeten Material versiegelt (siehe Abbildung 7). Die Überlappungslänge zwischen Dichtungsplombe und GTD sollte hier mindestens 0,6 m betragen.⁴⁷

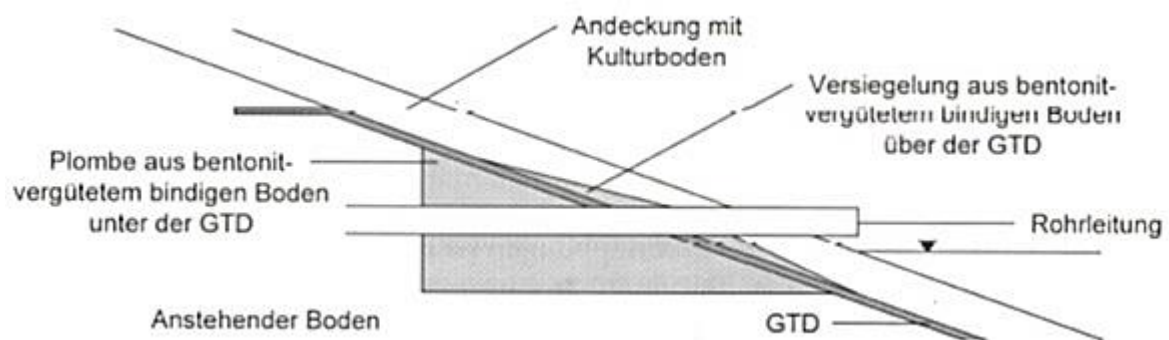


Abbildung 7: Anschluss einer GTD an eine Leitung mittels einer Dichtungsplombe⁴⁸

⁴² DWA Themen, 2005, S. 22 f.

⁴³ EAO, 2002, S. 22.

⁴⁴ EAG-GTD, 2002, S. 45.

⁴⁵ DWA Themen, 2005, S. 23.

⁴⁶ DWA Themen, 2005, S. 22.

⁴⁷ EAG-GTD, 2002, S. 45.

⁴⁸ EAG-GTD, 2002, S. 47.

3.1.3. Anschlusskonsolen

Eine weitere Möglichkeit für die Anbindung von Dichtungen an Querbauwerke sind Anschlusskonsolen. Hierfür wird die jeweilige Dichtung an ein vorgefertigtes Formstück angebunden und dieses wiederum mit dem jeweiligen Bauwerk verbunden. Diese Methode kommt vielfach für KDB und GTD zum Einsatz. Verbindungen zu als Deichdichtung eingebrachten Spundwänden sind ebenfalls über Anschlusselemente realisierbar, die am und im Querbauwerk angebracht werden. Entsprechende Ausführungen werden oftmals für die Anbindung eingestellter Spundbohlen verwendet und sind deshalb im entsprechenden Abschnitt bei den Übergangsdichtungen aufgeführt.

Anschluss an Betonwände

Das Einbetonieren einer Dichtungsbahn in ein Massivbauwerk sollte vermieden werden, da eine nachträgliche Ausbesserung bei Schadensfällen praktisch unmöglich wäre. Muss eine KDB an eine Betonwand angeschlossen werden, wird aus diesem Grund häufig auf einbetonierte Anschlusselemente (vgl. Abbildung 8) zurückgegriffen. Mit diesen kann dann wiederum die KDB durch gängige Fügetechniken wie Schweißen, Kleben oder Vulkanisieren verbunden werden. Für die Planung und Durchführung der Arbeiten sind die DVS R 2225-1 und 3 (2016) zu beachten. Über die Profilierung des Anschlusselementes im Beton wird für einen ausreichend langen Sickerweg gesorgt.⁴⁹ Einbetonierte Anschlusselemente können nur im Zuge von Neubaumaßnahmen angebracht werden.

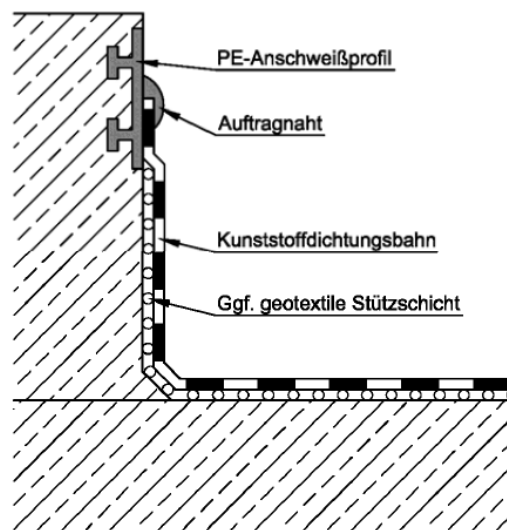


Abbildung 8: Anschluss einer KDB an eine Betonwand mittels eines einbetonierten Anschweißprofils⁵⁰

Für die Anbindung einer KDB an ein bestehendes Betonbauwerk kann an dieses ein Anschlussstreifen aus Polyethylen (PE) angeklebt werden und mit diesem wiederum die Dichtungsbahn verschweißt werden (siehe Abbildung 9).

⁴⁹ DVWK 76, 1986, S. 87 ff.

⁵⁰ DWA-M 512-1, 2012, S. 39.

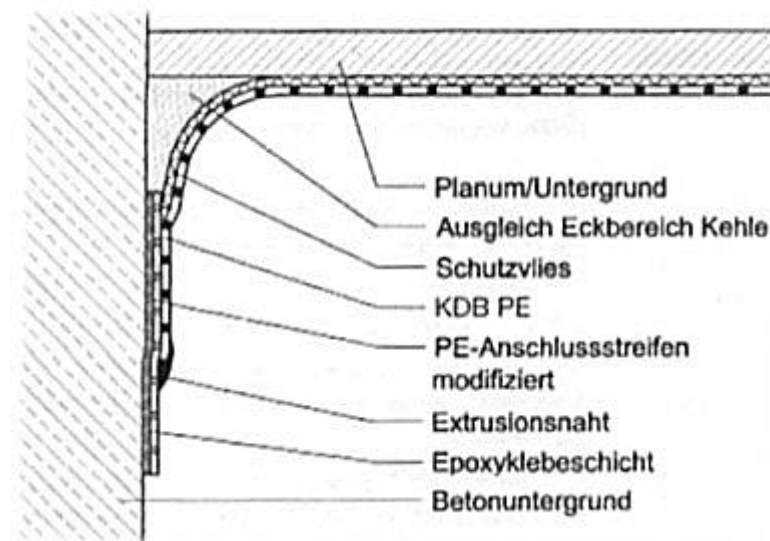


Abbildung 9: Anschluss einer KDB an ein bestehendes Betonbauwerk mittels eines Klebestreifens⁵¹

Für die Anschlüsse von GTD an Betonwände konnten keine entsprechenden Varianten ermittelt werden. Grundsätzlich wäre diese Möglichkeit jedoch denkbar. Für im Trockenem hergestellte Verbindungen sind Flansche verlässliche Anschlusslösungen für GTD.⁵² Folglich könnte eine einbetonierte Anschlusskonsole, die eine solche Verbindung ermöglicht (vgl. Abbildung 20), eine Variante sein. Für Anschlüsse an bestehende Bauwerke muss die Konsole sowohl mit dem Bauwerk als auch mit der Dichtungsbahn verbunden werden. Für diesen Anwendungsfall erscheinen deshalb Klemmkonstruktionen, wie sie im nächsten Abschnitt vorgestellt werden, die bessere Lösung zu sein.

Im Allgemeinen kann es bei Direktanbindungen als Folge von Setzungsunterschieden zwischen Deichkörper und Massivbauwerk zu starken Beanspruchungen der Dichtungsbahnen kommen. Ist dies zu erwarten, sind zusätzliche konstruktive Maßnahmen nötig. Neben einer guten Verdichtung des Baugrundes können Dehnungsschlaufen und stützende Schleppstreifen zum Ausgleich von Relativbewegungen eingebaut und so unzulässige Verformungen verhindert werden.⁵³ Eine entsprechende Konstruktion für eine KDB ist in Abbildung 10 dargestellt. Es kann davon ausgegangen werden, dass dies grundsätzlich auch auf GTD übertragbar ist.

⁵¹ DVS 2225-3, 2016, S. 7.

⁵² EAO, 2002, S. 24.

⁵³ DVWK 76, 1986, S. 209.

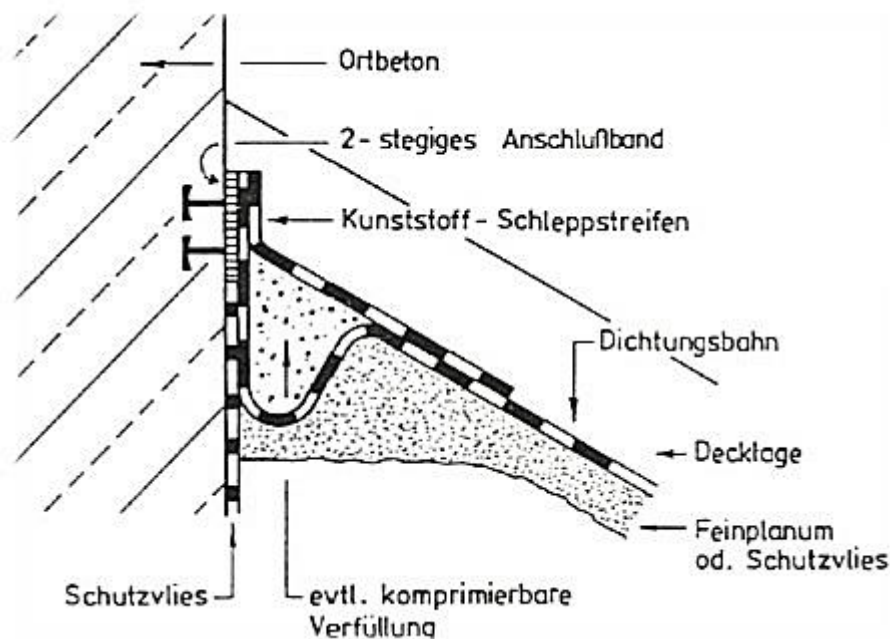


Abbildung 10: Anschlusskonsole mit Dehnungsschleife und Schleppstreifen⁵⁴

Anschluss an Spundwände

Für die Anbindung von Dichtungsbahnen an Spundwände konnten keine derartigen Anschlusskonsolen ermittelt werden. Das Anbringen einer Konsole in vertikaler Richtung erscheint jedoch denkbar. So kann beispielsweise ein PE-Dichtungsstreifen (vgl. Abbildung 9) auch auf Stahluntergrund angeklebt werden.⁵⁵ Mit diesem kann die Dichtungsbahn wiederum durch Schweißen oder andere Fügetechniken verbunden werden. Weitere Möglichkeiten könnten das Andübeln oder das Anschweißen einer Konsole sein. Hierfür sei auf den Abschnitt 3.2.3. der eingestellten Spundbohle verwiesen. Für schrägliegende Dichtungen könnten durch Unebenheiten im Bereich der Spundwandschlösser und der Spundwandtäler Schwierigkeiten bei der Gestaltung eines bindigen Anschlusses auftreten. Wie genau die Anbindung an Spundwände mit einer Anschlusskonsole in diesen Fällen aussehen könnte, bleibt zu erforschen.

Anschluss an Leitungen

Im Fall einer die Dichtungsbahn kreuzenden Leitung wird häufig auch auf Anschlusskonsolen in Form von Krägen zurückgegriffen. Im Allgemeinen gilt es, einen ausreichend festen Untergrund zu schaffen, um eine sichere Anbindung ausführen zu können. Hierfür können Konstruktionen aus Beton verwendet werden, an welche wiederum die Dichtungsbahn, beispielsweise mittels einer Klemmkonstruktion (vgl. Abschnitt 3.1.4.), befestigt wird. Die Fuge zwischen Leitung und Konsole wird durch eine geeignete dauerplastische Fugendichtungsmasse verschlossen. Auf diese Weise kann ein Anschluss an alle Leitungsmaterialien hergestellt werden.⁵⁶ Die Anbindung einer KDB an ein Beton-Vollrohr mittels eines Betonkragens ist beispielhaft in Abbildung 11 dargestellt.

⁵⁴ DVWK 76, 1986, S. 210.

⁵⁵ DVS 2225-3, 2016, S. 5.

⁵⁶ DVWK 76, 1986, S. 94.

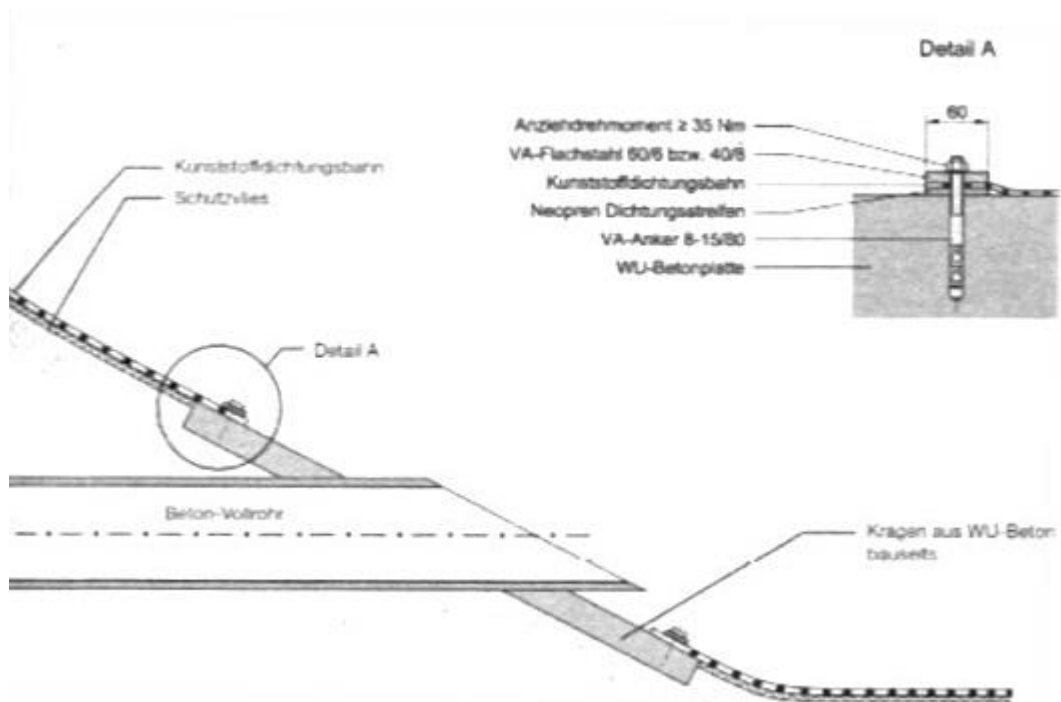


Abbildung 11: Anbindung einer KDB an ein Betonrohr mittels eines Betonkragens⁵⁷

Muss eine KDB an eine Leitung aus Kunststoff angeschlossen werden, kann an die Leitung ein Kragen angeschweißt werden und an diesen wiederum die Dichtungsbahn (siehe Abbildung 12). Hierfür müssen die einzelnen Komponenten aus den gleichen Werkstoffen bestehen.⁵⁸

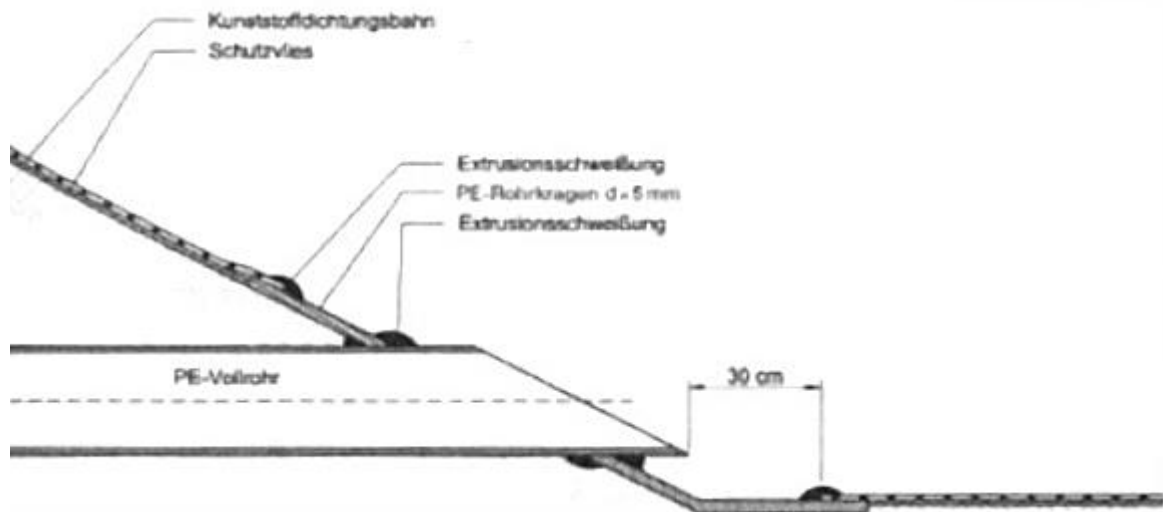


Abbildung 12: Anbindung einer KDB an ein PE-Rohr mittels eines PE-Rohrkragens⁵⁹

Eine entsprechende Ausführungsvariante für GTD ist in den EAG-GTD (2002) dargestellt (siehe Abbildung 13). Die Dichtungsbahn wird kreuzförmig aufgeschlitzt und an den mit dem

⁵⁷ DVS 2225-3, 2016, S. 3.

⁵⁸ DVWK 76, 1986, S. 94.

⁵⁹ DVS 2225-3, 2016, S. 3.

Rohr verschweißten Kragen angebunden. Bei diesem Anschluss sind zusätzliche Maßnahmen zur Sickerwegsverlängerung (vgl. Abschnitt 3.1.2.) erforderlich.⁶⁰

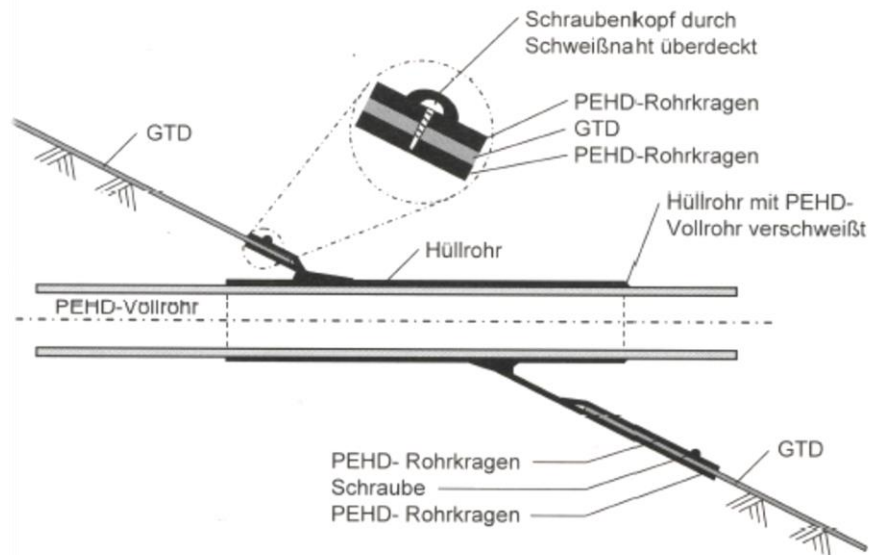


Abbildung 13: Anbindung einer GTD an ein PE-Rohr mittels eines PE-Rohrkragens⁶¹

Für die Querung einer massiven Innendichtung wird diese punktuell aufgebrochen und im Anschluss an die Leitungsdurchführung wieder dicht verschlossen. Um Hohlraumbildungen oder Rohrbrüche zu vermeiden, ist auf eine möglichst setzungsunempfindliche Anbindung zu achten.⁶² Hierfür können entsprechende Vorgaben erfüllende Anschlusskonstruktionen in Betracht kommen. Beispielhaft ist die Anbindung einer Leitung an eine Spundwand mittels einer Konsole in Abbildung 14 dargestellt.

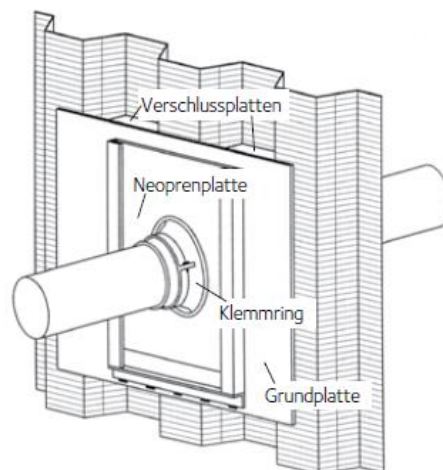


Abbildung 14: Anschluss einer Spundwand an eine Leitung mittels einer Konsole⁶³

⁶⁰ DWA-Themen, 2005, S. 23.

⁶¹ EAG-GTD, 2002, S. 47.

⁶² DWA-M 507-1, 2011, S. 70.

⁶³ ArcelorMittal, Stahlsplundwände in Hochwasserschutz und Kanaldeichen, S. 5.

3.1.4. Klemmverbindungen

Im Gegensatz zu den Anbindungen mittels Anschlusskonsolen wird hier die Dichtung durch eine Klemmkonstruktion direkt mit dem Bauwerk verbunden. Klemmkonstruktionen finden bei vielen Abdichtungsmaßnahmen Anwendung. Im Wasserbau kommen sie unter anderem zur Befestigung von im Übergangsbereich zu Asphaltdichtungen angebrachten Fugenbändern zum Einsatz. Hierfür sei auf die EAAW (2008) verwiesen. Ein entsprechendes Ausführungsdetail ist in Anhang A.5 dargestellt.

Für den Deichbau relevant sind Klemmverbindungen hauptsächlich für die Anbindung von Dichtungsbahnen. Techniken, die von der Anbindung von KDB bekannt sind, gelten auch für GTD, wenn der Anschluss im Trockenem hergestellt wird.⁶⁴ Weitere Klemmkonstruktionen für die Anbindung von eingestellten Spundbohlen und dementsprechend auch für als Deichdichtung eingebrachte Spundwände sind im entsprechenden Abschnitt aufgeführt.

Anschluss an Betonwände

Der Anschluss an eine Betonwand ist in Abbildung 15 dargestellt. Durch Klemmverbindungen kann im Gegensatz zu den zuvor genannten einbetonierten Anschlusselementen der Anschluss auch an bereits bestehende Bauwerke hergestellt werden.

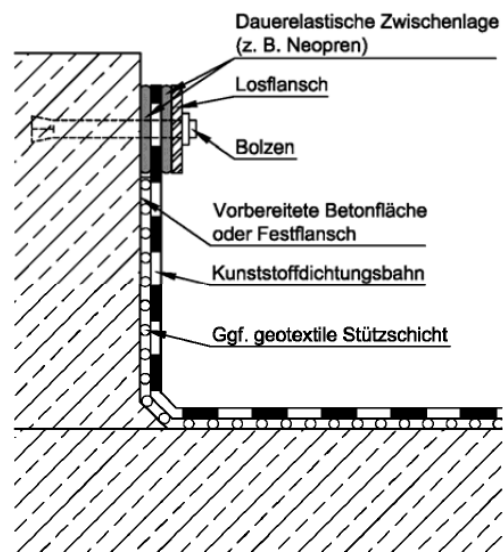


Abbildung 15: Anschluss einer Dichtungsbahn an eine Betonwand mittels einer Klemmverbindung⁶⁵

Die Dehnungsbeanspruchungen auf die Dichtungsbahn sind zu beachten und in Grenzen zu halten. Es kann auf entsprechende konstruktive Maßnahmen (z. B. Schlaufen, siehe Abbildung 10) zurückgegriffen werden. Insbesondere ist zu bedenken, dass die Verformungsfähig-

⁶⁴ EAO, 2002, S.24.

⁶⁵ DWA-M 512-1, 2012, S. 39.

keit der Dichtungsbahn durch die verhinderte Querkontraktion im Anschlussbereich stark eingeschränkt ist.⁶⁶

Damit ein anhaltender Anpressdruck gewährleistet werden kann, muss die Dichtungsbahn zwischen dauerelastischen Zwischenlagen (siehe Abbildung 15) eingespannt werden. Die verwendeten Materialien sollten korrosionsbeständig sein und können zusätzlich mit einem schützenden Kunststoffverguss abgedeckt werden.⁶⁷ Regelabmessungen zu den für Klemmverbindungen gebräuchlichen Los- und Festflanschkonstruktionen können DIN 18195, Teil 9, entnommen werden.

Anschluss an Spundwände

Klemmverbindungen als Anschlussmethode einer Dichtungsbahn an Spundwände konnten nicht ermittelt werden. Grundsätzlich ist zumindest eine vertikale Konstruktion entsprechend der Anschlüsse an Betonwände denkbar. Bei schrägliegenden Dichtungen könnten die Spundwandschlösser und die Spundwandtäler für Probleme bei der Abdichtung sorgen. Eine schlüssige Anbindung in diesen Bereichen erscheint schwierig und müsste fallspezifisch betrachtet werden.

Anschluss an Leitungen

Eine mögliche Lösung für den Anschluss einer Dichtungsbahn an eine Leitung ist die Anbindung mit einer Klemmschelle und einem Anschlussflansch (siehe Abbildung 16). Auf diese Weise sind Anschlüsse an Rohre aus artfremden Materialien möglich. Der benötigte feste Untergrund im Durchdringungsbereich wird bei dieser Ausführungsvariante durch einen Betonkragen geschaffen.

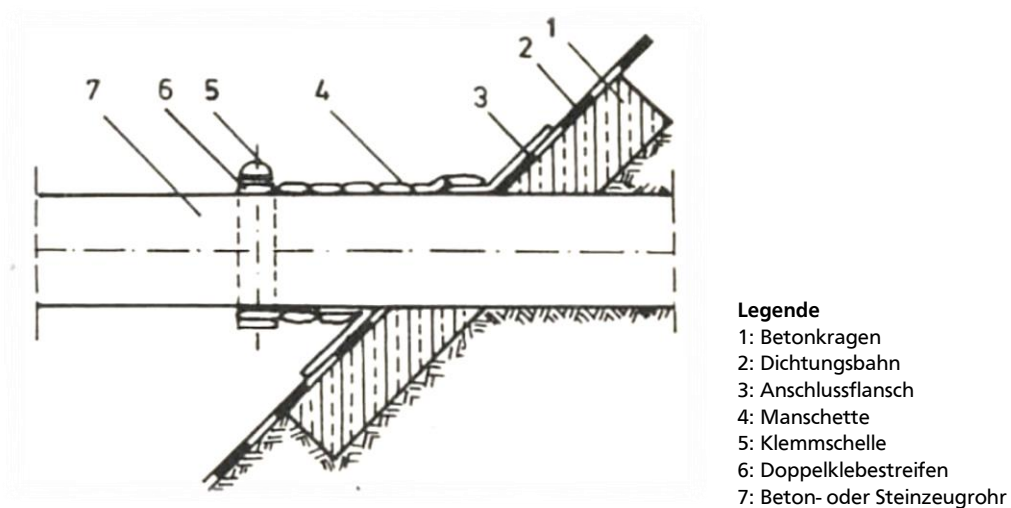


Abbildung 16: Anschluss einer Dichtungsbahn an eine Leitung mittels einer Klemmverbindung⁶⁸

Eine vergleichbare Anschlusskonstruktion speziell für die Anbindung von KDB ist in Anhang A.8 dargestellt.

⁶⁶ DVWK 76, 1986, S. 87.

⁶⁷ DVWK 76, 1986, S. 185.

⁶⁸ DVWK 76, 1986, S. 93.

3.2. Übergangsdichtungen

Eine weitere Möglichkeit, den Anschluss an ein angrenzendes Querbauwerk auszuführen, stellt der Wechsel auf eine passende Dichtung im Übergangsbereich dar. Hierfür wird die anstehende Dichtung bis kurz vor das Bauwerk geführt und anschließend eine das Querbauwerk und die Dichtung verbindende Übergangsdichtung eingefügt. Für diesen Anwendungsfall wird in der Literatur zwischen der Injektionstechnologie, dem Düsenstrahlverfahren und eingestellten Spundbohlen unterschieden. Übergangsdichtungen kommen hauptsächlich für die Anbindung von Dichtungswänden zum Einsatz. Genauer ist in den einzelnen Abschnitten dargelegt.

3.2.1. Injektionsmaßnahmen

In diesem Abschnitt wird auf Injektionen als Maßnahme zur Abdichtung von Deichen eingegangen. Hierfür kommen innerhalb des Deichkörpers nur Poreninjektionen, unter Bauwerken zusätzlich auch Kluftinjektionen zum Einsatz.⁶⁹ Weitere mögliche Anwendungsfelder von Injektionen können Hornich (2009) entnommen werden.

Für eine erfolgreiche Injektion müssen nach Kutzner (1991) folgende Kriterien erfüllt sein:

- Die zu verfüllenden Porenräume müssen mit dem Injektionspunkt und untereinander in hydraulischer Verbindung stehen.
- Der Injektionsdruck muss ausreichen, um vorhandenes Kluft- und Porenwasser zu verdrängen und die gewünschte Reichweite zu erzielen.
- Die Feststoffteile des Injektionsguts dürfen nicht größer als die Hohlraumabmessungen des Bodens sein.

Folglich ist nicht jeder Boden für eine Injektion geeignet. Grundsätzlich kommen nichtbindige Lockergesteine und klüftiger Fels in Betracht. Für Tone und Schluffe muss auf das Düsenstrahlverfahren (siehe Abschnitt 3.2.2.) zurückgegriffen werden.⁷⁰

Als Injektionsmittel für Böden mit Korngrößen oberhalb des Grobsandbereichs kommen überwiegend selbsthärtende Suspensionen zum Einsatz. Für feinkörnigere Böden werden Silikatlösungen (Natrium-Wasserglas) mit anorganischen oder organischen Härtern verwendet.⁷¹ Die Bereiche der Injizierbarkeit sind in Anhang A.1 dargestellt. Aktuellere Forschung befasst sich mit Injektionsverfahren auf Kunststoffbasis. Hierbei konnten bereits deutliche Verbesserungen der Haft- und Scherfestigkeit im Übergangsbereich zu Massivbauwerken erzielt werden.⁷² Im Allgemeinen sollte das Injektionsmittel einen geringen Elastizitätsmodul aufweisen, um mögliche Verformungen schadlos aufnehmen zu können und Rissbildungen zu vermei-

⁶⁹ DWA-M 512-1, 2012, S. 62.

⁷⁰ DWA-M 512-1, 2012, S. 65.

⁷¹ DWA-M 512-1, 2012, S. 62.

⁷² Kostkanová, V. et al., 2016, S. 127.

den.⁷³ Durch Injektionen kann es zu starken chemischen Beeinflussungen des Grundwassers kommen. Auf die Umweltverträglichkeit der verwendeten Materialien ist deshalb zu achten.⁷⁴

Im Deichbau kommt die Injektionstechnologie vielfach für den Übergang von Dichtungswänden zu Querbauwerken zur Anwendung wie etwa bei Spundwänden, Schlitz- oder Schmalwänden. Auch Anschlussbereiche zwischen Erd- und Massivbauwerken können mittels der Injektionen abdichtet werden.⁷⁵ Für den Übergang zu Dichtungsbahnen sind in der Literatur keine Anwendungsbeispiele genannt. Es gilt zu berücksichtigen, dass GTD und KDB vergleichsweise dünne und damit verletzbare Dichtungen sind. Somit wird die Nutzung der Injektionstechnologie für einen Übergang zwischen Bauwerk und Dichtungsbahn in der Regel auszuschließen sein.

Der Anschluss an Leitungen, Beton- und Spundwände ist sehr ähnlich ausführbar, weshalb hier nicht in diese drei Kategorien unterschieden wird. Es wird allgemein der Anschluss an Querbauwerke behandelt.

Anschluss an Querbauwerke

Zur Herstellung einer Übergangsdichtung wird das Injektionsgut an den entsprechenden Stellen in flüssigem, pumpfähigem Zustand in die vorhandenen Hohlräume eingebracht. Dort härtet es aus und erlangt so seine abdichtende Wirkung.⁷⁶ Aufgrund der Fließfähigkeit während des Injektionsvorgangs kann es sich auch an komplexe Oberflächenformen anpassen und so schlüssig an das jeweilige Querbauwerk und die anstehende Dichtung anbinden.⁷⁷

Die Abdichtung des Übergangsbereiches mittels Injektionskörpern kann für den Anschluss einer Dichtwand an eine Beton- oder Spundwand sorgen. Eine beispielhafte Ausführung ist in Abbildung 17 dargestellt.

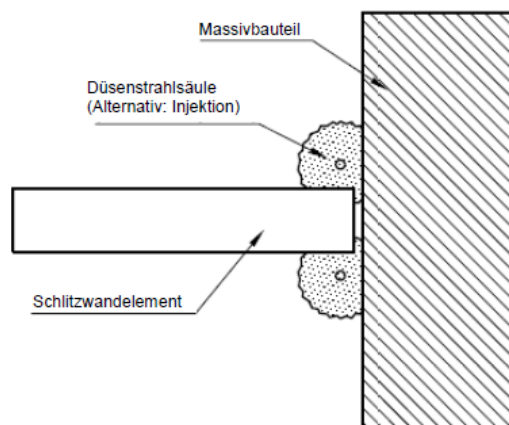


Abbildung 17: Anschluss einer Dichtwand an eine Bauwerkswand mittels einer Injektion⁷⁸

⁷³ DWA-M 512-1, 2012, S. 79.

⁷⁴ DWA-M 512-1, 2012, S.62 f.

⁷⁵ DWA-M 512-1, 2012, S. 62.

⁷⁶ Kutzner, 1991, S. 11.

⁷⁷ DWA-M 512-1, 2012, S. 66.

⁷⁸ DWA-M 512-1, 2012, S. 79.

Auch der Übergang zu Leitungen lässt sich durch Verfüllen der Aussparung zur Dichtwand auf vergleichbare Weise abdichten. Werden Leitungen nachträglich durch den Deichkörper gepresst, entstehen dabei meist Hohlräume, Auflockerungen oder erosionsgefährdete Bodenstrukturen um die Leitungswandung. Diese können ebenfalls durch geeignete Injektionsmaßnahmen verfüllt werden.⁷⁹ Weitere Hinweise und Bestimmungen zur genauen Ausführung von Injektionsarbeiten können in DIN 12715 nachgeschlagen werden.

3.2.2. Düsenstrahlverfahren

Im Gegensatz zu Injektionsmaßnahmen wird beim Düsenstrahlverfahren der Boden mittels eines Flüssigkeitsstrahls unter hohem Druck aufgeschnitten und mit Bindemittel vermischt beziehungsweise zu Teilen von diesem ersetzt. Für Abdichtungen kommen selbsthärtende Suspensionen zum Einsatz.⁸⁰

Auf diese Weise können unterschiedlich ausgebildete Dichtungselemente in nahezu dem gesamten Spektrum der Lockergesteine hergestellt werden. Die Anwendungs- und Wirtschaftlichkeitsgrenzen des Verfahrens werden noch einmal in Anhang A.1 dargestellt. In Abhängigkeit der Kombinationen aus Wasser, Luft und Suspension kann in vier unterschiedliche Systeme unterschieden werden und so das Verfahren auf den jeweiligen Boden angepasst werden.⁸¹ Eine Beschreibung dieser Systeme ist in DIN 12716 zu finden.

Es lassen sich Düsenstrahlsäulen und Düsenstrahllamellen herstellen und diese zu kleinteiligen Dichtwandsystemen kombinieren. Um ein Aufbrechen der Geländeoberfläche des Deiches während des Arbeitsprozesses zu vermeiden, darf der Hochdruckstrahl im Deich nur bis zu einem gewissen Sicherheitsabstand hochgezogen werden. Alternativ kann die Oberfläche für die Dauer des Vorgangs durch Stahlplatten oder Anschüttungen geschützt werden.⁸²

Das Düsenstrahlverfahren kommt im Deichbau vielfach für den Übergang von Dichtungswänden, wie beispielsweise von Spundwänden, Schlitz- oder Schmalwänden, zu Querbauwerken zur Anwendung. Auch Anschlussbereiche zwischen Erd- und Massivbauwerken können mittels des Düsenstrahlverfahrens abgedichtet werden.⁸³ Aufgrund der hohen Drücke und der Verletzlichkeit der Dichtungsbahnen wird davon ausgegangen, dass das Düsenstrahlverfahren für den Übergangsbereich zu GTD und KDB nicht geeignet ist.⁸⁴ Der Anschluss an Leitungen, Beton- und Spundwände ist sehr ähnlich ausführbar, weshalb hier lediglich der allgemeine Fall des Anschlusses an Querbauwerke behandelt wird.

⁷⁹ DWA-M 507-1, 2011, S. 71.

⁸⁰ DIN 12716, 2001, S. 4.

⁸¹ DIN 12716, 2001, S. 5 ff.

⁸² DWA-M 512-1, 2012, S. 72.

⁸³ DWA-M 512-1, 2012, S. 68.

⁸⁴ Ingenieurbüro BGS Wasserwirtschaft.

Anschluss an Querbauwerke

Mit den erstellten Dichtungskörpern kann der Übergang einer Dichtungswand zu einem angrenzenden Querbauwerk hergestellt werden. Durch Andüsen entsteht ein dichter Anschluss im Bereich der Lücke.⁸⁵

Der Übergang zwischen einer Dichtwand und einer Beton- oder Spundwand kann, analog zur Injektionstechnologie, wie in Abbildung 17 dargestellt geschehen. Auf vergleichbare Weise können Verbindungen zwischen den Deich kreuzenden Leitungen und der Dichtwand hergestellt werden.⁸⁶ Ein entsprechendes Beispiel aus der Praxis für den Übergang zu einer Spundwand ist unter anderem im Kapitel zum Hochwasserschutz am Main in der Dokumentation 598 des Stahl-Information-Zentrums beschrieben. Leitungen sind unter Umständen durch entsprechende Maßnahmen (z. B. Betonkragen) im Bereich des Düsenstrahlkörpers vor übermäßigen Druckbelastungen zu schützen.⁸⁷ Mit Hilfe des Düsenstrahlverfahrens sind auch unter schwierigen geometrischen Verhältnissen dichte Anschlüsse möglich.⁸⁸ Analog zu der oben genannten Norm bezüglich des Injektionsverfahrens ist für das Düsenstrahlverfahren DIN 12716 zu beachten. Eine ausführliche Beschreibung der unterschiedlichen Verfahren kann auch Kutzner (1991) entnommen werden.

3.2.3. Eingestellte Spundbohle

Durch eine eingestellte Spundbohle kann der Übergang von verschiedenen Dichtwänden aus selbsthärtenden Suspensionen zu einem Querbauwerk ausgeführt werden. Für diesen Zweck wird eine Spundbohle in die noch frische Suspension eingestellt und infolgedessen schlüssig eingebunden.⁸⁹ Auf diese Weise wird ein definierter Abschluss der Dichtwand geschaffen. Im Bedarfsfall kann diese Spundbohle über zusätzliche in den Schlössern verbundene Bohlen zu einer Spundwand erweitert werden. Das abschließende Spundwandelement wird dann mit dem angrenzenden Querbauwerk verbunden. In Abhängigkeit von den Anforderungen an die Verbindung und den äußeren Rahmenbedingungen kommen unterschiedliche Anschlusslösungen zum Einsatz. Die im Folgenden dargestellten Verfahren gelten für die im Wasserbau häufig eingesetzten Stahlspundwände. Ausführungsvarianten für Spundwände aus Holz oder Kunststoffen werden hier nicht aufgeführt. Weitere Hinweise zu möglichen Konstruktionen sowie zu Arbeiten mit Spundwänden können DIN EN 12063 und EAU (2012) Kapitel 8 entnommen werden.

Hervorzuheben ist, dass die im Folgenden aufgeführten Verbindungstechniken zwischen Querbauwerk und Spundbohle auch für den Anschluss einer als Deichdichtung eingebrachten Spundwand sorgen können. Hierfür ist lediglich die an das Bauwerk angebundene Bohle über das Schloss mit der Dichtungsspundwand zu verbinden.

⁸⁵ DWA-M 512-1, 2012, S. 70.

⁸⁶ DWA-M 512-1, 2012, S. 68.

⁸⁷ Ingenieurbüro BGS Wasserwirtschaft.

⁸⁸ DWA-M 512-1, 2012, S. 72.

⁸⁹ DWA-M 512-1, 2012, S. 97.

Auf die Vergleichbarkeit mit den Anschlusskonsolen und den Klemmverbindungen wird an dieser Stelle noch einmal hingewiesen. Darüber hinaus sei angemerkt, dass die hier aufgeführten Anbindungen aus dem Bereich der Uferbefestigungen stammen. Von einer Übertragbarkeit auf den Deichbau wird jedoch ausgegangen.

Anschluss an Betonwände

Um einen Anschluss an neu zu errichtende Betonwände herzustellen, kann eine kupierte Einzelbohle mit angeschweißten Pratzen in das Querbauwerk mit einbetoniert werden. Mit dieser wird daraufhin die anzuschließende Spundwand über das Spundwandschloss verbunden (siehe Abbildung 18). Damit das Anschlussschloss gängig bleibt, ist es mit einer plastischen Masse zu verfüllen.⁹⁰ Die einwandfreie Verhakung zwischen den einzelnen Spundwandbohlen kann beim Einbau durch Schlosssprungdetektoren überprüft werden.⁹¹

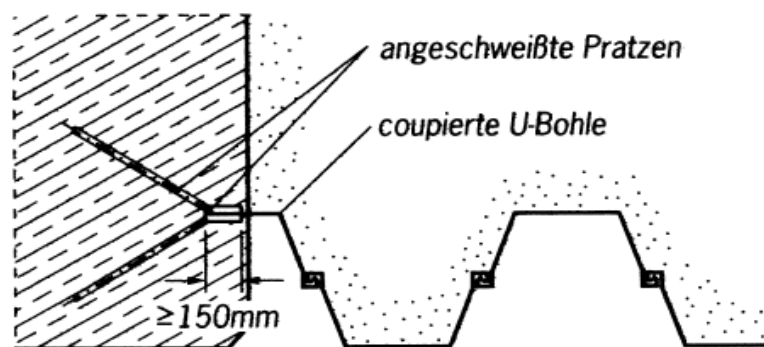


Abbildung 18: Anschluss einer Spundbohle an ein neu zu errichtendes Betonbauwerk mittels einer einbetonierten U-Bohle⁹²

Für den Anschluss an ein bereits bestehendes Betonbauwerk kann eine Konstruktion entsprechend Abbildung 19 ausgeführt werden. Eine U-Bohle mit angeschweißtem Schloss wird an die Außenwand angedübelt, und der dazwischenliegende Hohlraum wird mit bituminiertem Mischkies oder Frischbeton (Sackbeton) verfüllt. Über das Schloss können wiederum die angrenzenden Spundbohlen angeschlossen werden.⁹³

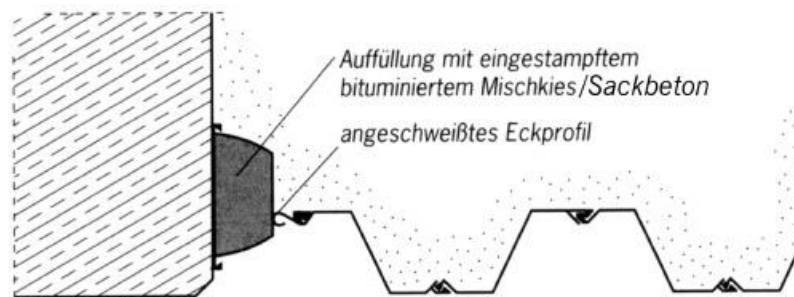


Abbildung 19: Anschluss einer Spundbohle an ein vorhandenes Betonbauwerk mittels einer angedübelten U-Bohle⁹⁴

⁹⁰ EAU, 2012, S. 242.

⁹¹ DWA-M 512-1, 2012, S. 109.

⁹² EAU, 2012, S. 243.

⁹³ EAU, 2012, S. 243.

⁹⁴ EAU, 2012, S. 244.

Beide Anschlussvarianten sind sowohl mit Spundwänden aus U-Bohlen (vgl. Abbildung 18) als auch mit Spundwänden aus Z-Bohlen (vgl. Abbildung 19) möglich.

Bei hohen Anforderungen an die Beweglichkeit und die Wasserdichtheit der Verbindung kommen anstelle oben genannter Konstruktionen Fugenbänder zum Einsatz. Diese werden über Klemmplatten an der Spundwand befestigt und über einen Festflansch an das Betonbauwerk angeschlossen.⁹⁵ Fugenbänder können über ihre Geometrie und die Materialeigenschaften Verformungen aufnehmen.⁹⁶ In Abbildung 20 ist eine mögliche Ausführungsvariante für neu zu errichtende Betonbauwerke mit einbetonierter Verankerung dargestellt.

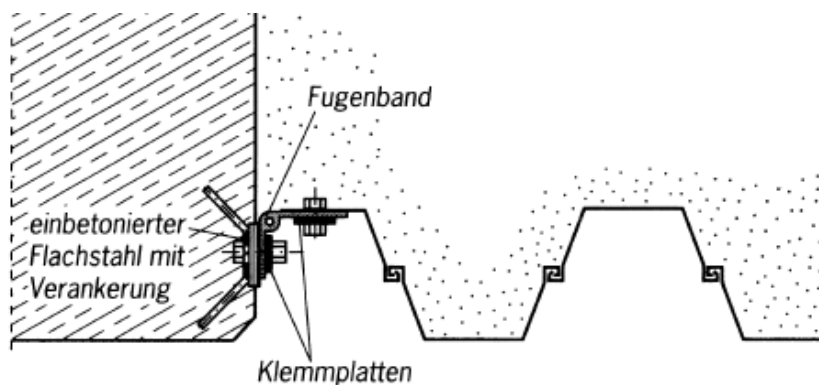


Abbildung 20: Anschluss einer Spundbohle an ein neu zu errichtendes Betonbauwerk mittels eines Fugenbandes⁹⁷

Anschlusskonstruktionen mittels Fugenbänder sind vielfach aus der Bauwerksabdichtung bekannt. Nähere Informationen zu möglichen Ausführungsvarianten, den unterschiedlichen verwendeten Fugenbändern sowie weiteren planerischen Details können unter anderem Hohmann (2009) und DIN 18195 entnommen werden. Auch Anbindungen an bereits bestehende Betonbauwerke werden dort aufgeführt. Hierfür kommen meist Losflanschkonstruktionen, oftmals als Klemmkonstruktionen bezeichnet, zum Einsatz (vgl. Anhang A.5).

Anschluss an Spundwände

Für diesen Anwendungsfall muss eine rechtwinklige Verbindung zwischen zwei Spundbohlen hergestellt werden. Der Anschluss kann, vergleichbar zu Abbildung 19, über ein angeschweißtes Spundwandschloss erfolgen. Ein mögliches Ausführungsdetail ist in Anhang A.7 gegeben.

Anschluss an Leitungen

Auch für den Anschluss an Leitungen ist eine eingestellte Spundbohle eine Möglichkeit. Auf eine Anbindung mittels einer Anschlusskonsole, wie in Abschnitt 3.1.3. dargestellt, kann zurückgegriffen werden. Alternativ können die oben beschriebenen Injektionsmaßnahmen oder das Düsenstrahlverfahren zum Einsatz kommen.⁹⁸

⁹⁵ EAU, 2012, S. 243.

⁹⁶ Hohmann, 2009, S. 332.

⁹⁷ EAU, 2012, S. 244.

⁹⁸ Ingenieurbüro BGS Wasserwirtschaft.

4 Vergleich und Bewertung der Dichtungsanschlüsse

Nachdem im vorangegangenen Kapitel die unterschiedlichen Dichtungsanschlüsse vorgestellt wurden, soll im Folgenden ein Rahmen für eine bessere Vergleichbarkeit und somit die Grundlage für die Auswahl einer Anschlusskonstruktion geschaffen werden.

Anhaltspunkte für eine Beurteilung von Dichtungen liefert unter anderem das Merkblatt MSD (2011). Hier werden die unterschiedlichen im Wasserbau eingesetzten Dichtungstypen anhand ausgewählter Kriterien beurteilt. Dies wird in Anhang A.4 in einer Tabelle dargestellt.

Bei der vorliegenden Arbeit stehen jedoch nicht die im Deichkörper angebrachten Dichtungen im Mittelpunkt, sondern vielmehr die möglichen Anschlusskonstruktionen an das den Deich kreuzende Bauwerk. Es wird davon ausgegangen, dass das jeweilige Querbauwerk und die Deichdichtung in der Planung der Dichtungsanbindung übergeordnet sind. Infolgedessen werden diese als vorgegebene Randbedingungen betrachtet, an welche es die Gestaltung des Übergangsbereiches anzupassen gilt. Die Erfüllung dieser Randbedingungen bildet demnach die Grundvoraussetzung für die Einsetzbarkeit einer Anschlusskonstruktion. Die in den jeweiligen Ausgangssituationen ausführbaren Anbindungen sind auf der folgenden Seite in Tabelle 1 dargestellt. Anschlusskonstruktionen, die in der Literatur nicht explizit genannt werden, jedoch durchaus denkbar erscheinen, sind durch kursive Schreibweise gekennzeichnet.

Vor diesem Hintergrund werden im vorliegenden Kapitel eigene Bewertungskriterien definiert. Es sei angemerkt, dass bei einigen der Kriterien für eine Gesamteinschätzung der Maßnahme die anschließbaren Dichtungen ebenfalls mit zu berücksichtigen sind. Anschließend werden die Dichtungsanbindungen unter den Gesichtspunkten der jeweiligen Kriterien im Rahmen einer fünfstufigen Skala von sehr gut bis sehr schlecht bewertet und auf diese Weise im Verhältnis zu den anderen in dieser Arbeit vorgestellten Anschlusskonstruktionen eingeordnet. Für eine bessere Übersicht werden die Ergebnisse abschließend in Tabelle 2 zusammenfassend dargestellt. Diese Darstellung kann dem Planer / der Planerin für entsprechende Anwendungsfälle als Entscheidungshilfe dienen.

Tabelle 1: Ausgangssituationsspezifische Zusammenstellung möglicher Anschlüsse

Deichdichtungen	Querbauwerke mit möglichen Anschlusskonstruktionen		
	Betonwand	Leitung	Spundwand
Dichtwände aus selbsthärtenden Suspensionen	<ul style="list-style-type: none"> • Düsenstrahlverfahren • Eingestellte Spundbohle • Injektionsmaßnahmen 	<ul style="list-style-type: none"> • Düsenstrahlverfahren • Eingestellte Spundbohle • Injektionsmaßnahmen 	<ul style="list-style-type: none"> • Düsenstrahlverfahren • Eingestellte Spundbohle • Injektionsmaßnahmen
Geosynthetische Tondichtungsbahnen	<ul style="list-style-type: none"> • <i>Anschlusskonsolen</i> • Dichtungsplomben • Klemmverbindungen 	<ul style="list-style-type: none"> • Anschlusskonsolen • Dichtungsplomben • Klemmverbindungen 	<ul style="list-style-type: none"> • <i>Anschlusskonsolen</i> • Dichtungsplomben • <i>Klemmverbindungen</i>
Kunststoffdichtungsbahnen	<ul style="list-style-type: none"> • Anschlusskonsolen • Dichtungsplomben • Klemmverbindungen 	<ul style="list-style-type: none"> • Anschlusskonsolen • Dichtungsplombe • Klemmverbindungen 	<ul style="list-style-type: none"> • <i>Anschlusskonsolen</i> • Dichtungsplomben • <i>Klemmverbindungen</i>
Mineralische Innendichtungen	<ul style="list-style-type: none"> • Bauwerksgestaltung • Dichtungsplomben • Düsenstrahlverfahren • Injektionsmaßnahmen 	<ul style="list-style-type: none"> • Dichtungsplomben • Düsenstrahlverfahren • Injektionsmaßnahmen 	<ul style="list-style-type: none"> • Dichtungsplomben • Düsenstrahlverfahren • Injektionsmaßnahmen
Mineralische Oberflächendichtungen	<ul style="list-style-type: none"> • Bauwerksgestaltung • Dichtungsplomben • Düsenstrahlverfahren • Injektionsmaßnahmen 	<ul style="list-style-type: none"> • Dichtungsplomben • Düsenstrahlverfahren • Injektionsmaßnahmen 	<ul style="list-style-type: none"> • Dichtungsplomben • Düsenstrahlverfahren • Injektionsmaßnahmen
Spundwände	<ul style="list-style-type: none"> • Anschlusskonsolen • Düsenstrahlverfahren • Injektionsmaßnahmen 	<ul style="list-style-type: none"> • Anschlusskonsolen • Düsenstrahlverfahren • Injektionsmaßnahmen 	<ul style="list-style-type: none"> • Anschlusskonsolen • Düsenstrahlverfahren • Injektionsmaßnahmen

4.1. Erarbeitung der Kriterien

Als Leitfaden für die Erarbeitung der Beurteilungskriterien dienen die verschiedenen notwendigen Schritte eines möglichen Planungsprozesses für eine Anschlusskonstruktion. Dieser wird im Folgenden vorgestellt:

Die Randbedingungen, wie sie in Tabelle 1 dargestellt sind, bilden die Grundlage für alle weiteren Überlegungen. Durch diese entscheidet sich, welche der Anschlusskonstruktionen überhaupt möglich sind. Je öfter eine Dichtungsanbindung dort auftaucht, umso vielseitiger ist sie verwendbar. Weiterhin ist es relevant, ob die Dichtung an ein bereits bestehendes Bauwerk angeschlossen werden muss oder ob es sich um eine Neubaumaßnahme handelt. Daraus ergibt sich das Kriterium der vielseitigen Verwendbarkeit.

Sind vor diesem Hintergrund die vorhandenen Möglichkeiten ermittelt, spielen die Anforderungen an die Dichtwirkung eine Rolle. Gesichtspunkte der Wirtschaftlichkeit und Verhältnismäßigkeit können von Bedeutung sein. Im Allgemeinen gilt: Der Übergangsbereich sollte ausreichend dicht sein, um die Entstehung eines bevorzugten Sickerweges zu verhindern und einen Materialtransport auszuschließen. Aus diesen Überlegungen leitet sich das Kriterium der Dichtheit ab.

Im nächsten Schritt werden die Herstellung der Anschlusskonstruktion und die daraus resultierenden Kosten betrachtet. Um zwischen den einzelnen Anschlusskonstruktionen besser differenzieren zu können, wird hier nach zwei Teilkriterien unterschieden. Zunächst werden die Materialbeschaffungskosten sowie die Kosten zur Bereitstellung der Betriebsmittel betrachtet. Hierbei werden auch Anforderungen an das Personal und eventuelle Einschränkungen durch örtliche Gegebenheiten berücksichtigt. Für das eine Teilkriterium der Herstellungskosten sind demnach der Personal-, Betriebsmittel- und Materialeinsatz die entscheidenden Faktoren. Daneben wird der Herstellungsaufwand für die Dichtungsanbindung als gesondertes Teilkriterium untersucht. Dies geschieht anhand folgender zwei Fragestellungen: Müssen die Arbeitsflächen am Querbauwerk freigelegt werden? Sind für die Anbindung der Dichtung weitere konstruktive Maßnahmen erforderlich?

In der Folge wird betrachtet, wie kontrolliert die einzelnen Maßnahmen ausführbar sind und wie sicher dementsprechend Einbaufehler vermieden werden können. Es ergibt sich das Kriterium der Fehleranfälligkeit beim Einbau.

Durch die Materialien, die für die Dichtungsanbindung verwendeten, kann es zu negativen Beeinflussungen auf die Umwelt kommen. Grundsätzlich hat die gesamte Maßnahme Anforderungen der Umweltverträglichkeit zu genügen. Hieraus resultiert das Kriterium der Umweltbelastung.

Ist der Anschluss hergestellt, sollte seine abdichtende Wirkung möglichst lange erhalten bleiben. Konstruktionen, die gewissen Setzungsunterschieden folgen können und gegenüber äußeren Einflüssen widerstandsfähig sind, sind vorteilhaft. Daraus ergibt sich das Kriterium der Dauerhaftigkeit.

Im Allgemeinen kann nicht ausgeschlossen werden, dass zu einem gewissen Zeitpunkt eine Sanierung unumgänglich sein wird. Eine Abwägung des Aufwandes und der Dauer von möglichen Reparaturarbeiten erscheint sinnvoll. Dies wird in dem Kriterium der Sanierungsmöglichkeiten zusammengefasst.

Demnach ergeben sich folgende Kriterien für die Beurteilung der Anschlusskonstruktionen:

- Vielseitige Verwendbarkeit
- Dichtheit
- Herstellungskosten
- Herstellungsaufwand
- Fehleranfälligkeit beim Einbau
- Umweltbelastung
- Dauerhaftigkeit
- Sanierungsmöglichkeiten

In den folgenden Abschnitten sollen die einzelnen Maßnahmen zur Abdichtung des Übergangsbereiches anhand der erarbeiteten Kriterien bewertet werden. Dies geschieht immer im Vergleich der einzelnen Dichtungsanbindungen untereinander und in der oben dargestellten Reihenfolge der Bewertungskriterien. Zur Einordnung wird eine fünfstufige Skala von sehr gut bis sehr schlecht angesetzt. Ist eine Anbindung in diesem Zusammenhang weder mit gut noch mit schlecht zu bewerten, so wird sie als neutral bezeichnet. Es ist also anzumerken, dass es sich dabei um keinen absoluten, sondern um einen relativen Maßstab für eine Bewertung der einzelnen Maßnahmen handelt. Bei diesem Arbeitsschritt hat sich allerdings gezeigt, dass für eine umfassende Beurteilung oftmals der nötige Einblick in die Praxis fehlt. Dafür notwendige Quellen konnten im Rahmen dieser Arbeit nicht immer in ausreichendem Maße recherchiert werden. Aus diesem Grund werden an einigen Stellen eigene Schlussfolgerungen und Einschätzungen getroffen oder Analogien zu vergleichbaren Ausführungen aufgezeigt. Auf diese Weise wird der Rahmen für eine erste Orientierung geschaffen.

4.2. Bauwerksgestaltung

Die Maßnahme einer günstigen Bauwerksgestaltung ist als Möglichkeit eines Dichtungsanschlusses für die Übergänge von mineralischen Oberflächen- und Innendichtungen zu einer neu zu errichtenden Betonwand relevant. Das mögliche Anwendungsfeld ist somit sehr beschränkt.

Die Dichtheit des Anschlussbereiches hängt von der Anzahl und der Ausbildung der einzelnen getroffenen Maßnahmen und dem anzubindenden Dichtungsmaterial ab. Ob eine ausreichend geringe Durchlässigkeit erreicht werden kann, bleibt im jeweiligen Anwendungsfall zu prüfen. Da keine direkte Verbindung zwischen Dichtung und Bauwerk hergestellt wird, sind im Allgemeinen jedoch weniger dichte Anschlüsse herstellbar, als es beispielsweise mit Klemmverbindungen oder mit Anschlusskonsolen möglich ist.

Für eine geeignete Gestaltung des Querbauwerkes ist lediglich die Schalungskonstruktion anzupassen. Zusätzliches Material oder spezielles Fachpersonal ist nicht notwendig. Zu beachten ist jedoch, dass für die Verdichtung des anstehenden Materials im Bereich eines Spornes handgeführte Kleingeräte erforderlich sind. Insgesamt werden die Herstellungskosten jedoch als gering eingeschätzt.

Gegenüber einer glatten Wand ohne Sporn wird bei der Ausbildung des Anschlusses mit einer verlängerten Herstellungsdauer zu rechnen sein. Dies kann sich in den Kosten niederschlagen. Da es sich zwangsweise um eine Neubaumaßnahme handelt, ist das Kriterium der freizulegenden Arbeitsfläche hier nicht relevant. Weitere konstruktive Anbindungen, wie beispielsweise bei einer Klemmverbindung, entfallen. Im Vergleich zu den anderen Anschlusskonstruktionen wird der Herstellungsaufwand daher als sehr gering bewertet.

Die Fehleranfälligkeit wird ebenfalls als sehr gering eingeschätzt, da die Betoniermaßnahmen über die Schalungskonstruktion gut kontrollierbar sind. Nach Erstellung der Bauwerkswand ist lediglich eine ausreichende Verdichtung des anstehenden Materials notwendig. Weitere konstruktive Maßnahmen sind nicht erforderlich.

Im Zuge einer Bauwerksgestaltung wird lediglich das Querbauwerk modifiziert. Weitere Materialien kommen nicht zum Einsatz. Eine zusätzliche Belastung der Umwelt ist durch die Betoniermaßnahmen nicht zu erwarten.

Da es sich um betonierte Ausführungsdetails ohne zusätzliche Konstruktionen handelt, können diese als sehr belastbar und beständig eingestuft werden. Die Dauerhaftigkeit wird daher als sehr hoch bewertet.

Für eine Sanierung der Gestaltungsdetails müsste ein neues Bauwerk erstellt werden. Dies wäre kosten- und zeitintensiv und erscheint nicht praktikabel. In entsprechenden Fällen würde wahrscheinlich auf andere Maßnahmen zur Wiederherstellung der ursprünglichen Dichtwirkung zurückgegriffen werden. Hierfür kämen beispielsweise Injektionen in Betracht.

4.3. Dichtungsplomben

Dichtungsplomben sind unabhängig vom anzuschließenden Querbauwerk einsetzbar. Sie finden dementsprechend häufig Anwendung.

Wie dicht die Maßnahme ist, hängt von der Körnung des verwendeten Materials, seiner Verdichtung und der Mächtigkeit im Kontaktbereich ab. Für Tondichtungen mit einer Mindestdicke von 20 cm wird für Wasserstraßen eine maximale Durchlässigkeit von $k = 1 \times 10^{-9}$ m/s als Grenzwert angegeben.⁹⁹ Da Dichtungsplomben meist aus Ton bestehen, wird der zuvor genannte Wert für die im Deichbau ausgeführten Konstruktionen übernommen. Grundsätzlich darf die Durchlässigkeit der Dichtung im Bereich des Anschlusses nicht größer sein als in der

⁹⁹ BAW Richtlinie RPW, 2015, S. 6.

Fläche.¹⁰⁰ Der geforderte Grenzwert wird hier dementsprechend als Orientierungswert auch für die Dichtungskeile in Deichen übernommen. Es wird keine direkte Verbindung zwischen Dichtung und Deich hergestellt, sondern lediglich das Material gegen die Bauwerkswand verdichtet. Aus diesem Grund kann davon ausgegangen werden, dass diese Maßnahme über eine geringere Dichtheit als beispielsweise Anschlusskonsolen oder Klemmverbindungen verfügt.

Für die Ausführung von Dichtungsplomben sind unter Umständen größere Mengen an Bodenmaterial notwendig. In Abhängigkeit von der Verfügbarkeit des Materials in der Umgebung können die Anschaffungskosten stark variieren. Für den Einbau sind lediglich Gerätschaften für die Bewegung und Verdichtung des Materials notwendig. Spezielles Fachpersonal ist nicht erforderlich. Die Herstellungskosten werden somit maßgeblich von der Materialverfügbarkeit beeinflusst. Eine allgemeingültige Aussage ist hier daher kaum möglich und bleibt im jeweiligen Anwendungsfall gesondert zu beurteilen. Aus Gründen der Vergleichbarkeit wird an dieser Stelle von größeren Materialkosten als für Dichtungsbahnen ausgegangen. Folglich werden die Herstellungskosten angesichts des großen Materialaufwandes hier schlechter bewertet als bei Dichtungsanbindungen über Anschlusskonsolen und Klemmverbindungen.

Für die Anbindung einer Dichtung über eine Plombe muss die Arbeitsfläche am Querbauwerk freigelegt werden. Andererseits sind keine zusätzlichen konstruktiven Maßnahmen nötig, um den Anschluss herzustellen. Es wird daher von einem geringeren Herstellungsaufwand als bei den Anschlusskonsolen, den Klemmkonstruktionen und den eingestellten Spundbohlen ausgegangen. Im Vergleich mit den Injektionsmaßnahmen und dem Düsenstrahlverfahren werden die Dichtungsplomben als aufwändiger bewertet, da in erstgenannten Fällen die Arbeitsfläche nicht freigelegt werden muss.

Aufgrund der Mächtigkeit der Plombe wird die Fehleranfälligkeit als gering bewertet. Kleinere Ungenauigkeiten beim Einbau führen nicht sofort zur Gefährdung des Erfolgs der Maßnahme, wie es beispielsweise aufgrund ihrer Verletzlichkeit bei der Anbindung von Dichtungsbahnen der Fall sein könnte. Da das Material bei freigelegter Arbeitsfläche lagenweise verdichtet wird, ist eine kontinuierliche Kontrolle auf mögliche Fehler durchführbar.

Für Dichtungsplomben werden wie auch für mineralische Dichtungen natürliche Materialien verwendet. Daher sind keine besonderen Umweltbelastungen zu erwarten.¹⁰¹

Aufgrund der Aufweitung in der Kontaktfläche zum Querbauwerk erscheinen durchgehende Rissbildungen auch bei Setzungsunterschieden unwahrscheinlich. Dichtungsplomben sind, so wie mineralische Dichtungen, alterungsbeständig und nahezu unempfindlich gegenüber chemischen Einflüssen. Vor Frost, Austrocknung, Durchwurzelung und Wühltieren müssen sie geschützt werden.¹⁰² Belastungen mit hydraulischen Gradienten bis maximal 5 sind

¹⁰⁰ DWA-M 512-1, 2012, S. 44.

¹⁰¹ DWA-M 512-1, 2012, S. 102.

¹⁰² DWA-M 512-1, 2012, S. 102.

zulässig.¹⁰³ Dichtungsplomben werden folglich als vergleichsweise nicht sehr dauerhafte Maßnahmen bewertet.

Die Sanierungsmöglichkeiten von Dichtungsplomben hängen von ihrer Zugänglichkeit ab. Werden Oberflächendichtungen über eine Plombe an ein Bauwerk angeschlossen, ist diese meist zugänglich. Eine Sanierung mineralischer Dichtungen erfolgt mit dem ursprünglichen Verfahren. Entsprechende Stellen müssen eventuell durch Abtragen der Schutzschichten freigelegt werden. Anschließend wird nachverdichtet, oder es wird der ungeeignete Boden ausgetauscht.¹⁰⁴ Analog sollte dies auch für die Dichtungsplomben möglich sein. Werden Innendichtungen über eine Plombe an ein Bauwerk angeschlossen, ist die Zugänglichkeit meist schwieriger herzustellen. Eine Sanierung fällt folglich schwerer. Hier kann auf Injektionsmaßnahmen zurückgegriffen werden. Zuletzt genannte Anschlüsse stellen jedoch nicht den Regelfall dar. Über Plomben ausführbare Dichtungsanbindungen betreffen vornehmlich Oberflächendichtungen (siehe Tabelle 1). Weitere konstruktive Details müssen nicht ausgebessert werden. Insgesamt werden die Sanierungsmöglichkeiten daher als gut angenommen.

4.4. Anschlusskonsolen

Anbindungen mittels einer Anschlusskonsole können lediglich bei Dichtungen mit klar definiertem Abschluss zum Einsatz kommen (siehe Tabelle 1). Sie können sowohl in das jeweilige Bauwerk mit einbetoniert als auch nachträglich angebracht werden.

Die Dichtwirkung des Übergangsbereiches wird von der angeschlossenen Dichtung und den Verbindungen der Konsole, auf der einen Seite mit dem Querbauwerk und auf der anderen Seite mit der Dichtung, bestimmt. Folgende Dichtungen werden häufig über Anschlusskonsolen angebunden: GTD, KDB und eingestellten Spundbohlen. Für GTD, mit einer planmäßigen Dicke von 1 cm, wird für Wasserstraßen eine Durchlässigkeit von maximal $k = 1 \times 10^{-11}$ m/s gefordert.¹⁰⁵ Dieser Wert gilt auch für Überlappungsbereiche.¹⁰⁶ Folglich wird davon ausgegangen, dass dies auch für die Anschlussbereiche an Querbauwerken gelten kann. Der Wert wird auch für den Deichbau als Orientierung übernommen. KDB werden als flüssigkeitsdicht eingestuft.¹⁰⁷ Die Dichtheit einer Spundwand wird in Abschnitt 4.7. betrachtet. Durch Konsolen kann eine formschlüssige Verbindung zwischen Dichtung und Querbauwerk hergestellt werden. Die Dichtheit der Gesamtmaßnahme wird aus diesem Grund als hoch eingestuft. Mit Anschlusskonsolen lassen sich demnach besser abdichtende Anbindungen herstellen als es beispielsweise mit dem Düsenstrahlverfahren, mit Injektionsmaßnahmen oder Dichtungsplomben möglich ist.

Die aufgeführten Anschlusslösungen beinhalten oftmals Schweißarbeiten. Anhand dieser Arbeiten wird hier exemplarisch der Herstellungsaufwand betrachtet. Sie dürfen nur von Fachbetrieben mit entsprechend geschulten Schweißern ausgeführt werden. Entsprechende Gerät-

¹⁰³ Ferrari, 2012, S. 894.

¹⁰⁴ DWA-M 512-1, 2012, S. 46.

¹⁰⁵ BAW Richtlinie RPW, 2015, S. 6.

¹⁰⁶ BAW Richtlinie RPW, 2015, S. 26.

¹⁰⁷ DWA-M 512-1, 2012, S. 35.

schaften werden benötigt. Weiter ist zu beachten, dass nur bei Lufttemperaturen, die 5 °C nicht unterschreiten, geschweißt werden darf. Bei Regen sind Schutzvorkehrungen gegen Nässe zu treffen.¹⁰⁸ Die anzuschließenden Dichtungsbahnen zeichnen sich durch geringe Schichtdicken aus, weshalb der Materialaufwand im Vergleich zu Dichtungsplomben, Injektionsmaßnahmen und Düsenstrahlkörpern als gering eingeschätzt wird. Gleichzeitig bedeutet dies eine Minimierung des maschinentechnischen Aufwandes. Hieraus ergeben sich wiederum Vorteile beim Einbau der Dichtung vor Ort.¹⁰⁹ Insgesamt werden Anschlusskonsolen unter dem Kriterium der Herstellungskosten deshalb besser bewertet als die drei oben genannten Verfahren.

Im Allgemeinen sind die Arbeitsflächen freizulegen, und die konstruktiven Details sind sorgfältig auszuführen. Meist müssen Anschlusskonsolen sowohl mit dem Querbauwerk als auch mit der Dichtung verbunden werden. Im Falle von einbetonierten Konsolen entfällt die Anbindung an das Bauwerk. Für einen genauen Vergleich müssten dementsprechend diese beiden Fälle unterschieden werden. Da in dieser Arbeit nicht nur Neubaumaßnahmen betrachtet werden, stellt die Möglichkeit des Einbetonierens nicht den Regelfall dar. Folglich wird hier von zwei auszuführenden Verbindungen ausgegangen, und dementsprechend werden die Anbindungen über Anschlusskonsolen als aufwändiger bewertet als Klemmverbindungen.

Die Arbeiten sind gut kontrollierbar, da die Arbeitsflächen freigelegt werden müssen und somit einsehbar sind. Mögliche Fehler können direkt korrigiert werden. Besondere Vorsicht ist beim Anschluss von Dichtungsbahnen geboten, da diese sehr dünn und verletzlich sind. Die Fehleranfälligkeit wird somit als größer eingeschätzt als bei den Dichtungsplomben.

Umweltbelastungen sind nicht bekannt. Es ist jedoch anzumerken, dass die verwendeten Materialien weniger ökologisch sind als natürliche Baustoffe.

Ein maßgeblicher Faktor für die Beurteilung der Dauerhaftigkeit ist die Belastbarkeit der angeschlossenen Dichtungsbahn. Durch an die Erfordernisse angepasste Ausführungen mit beispielsweise Schlaufen können Dehnungsbelastungen bis zu einem gewissen Maß schadlos aufgenommen werden. KDB aus PEHD (Polyethylen hoher Dichte) sind frost- und durchwurzelungssicher sowie beständig gegenüber chemischen und biologischen Angriffen.¹¹⁰ Für Bahnen mit Zulassungen durch die Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung können eine Funktionsdauer von ≥ 100 Jahren erreicht werden.¹¹¹ GTD können eine vergleichbare Funktionsdauer erreichen, sind jedoch nicht frostsicher oder durchwurzelungsfest.¹¹² Darüber hinaus ist noch die Beständigkeit der Verbindungen zwischen der Anschlusskonsole und sowohl dem Bauwerk als auch der Dichtung entscheidend. Zu prüfen sind Flanschkonstruktionen, Klebe- und Schweißverbindungen. Für die erstgenannte Verbindung werden Werkstoffe aus Stahl verwendet. Daher werden diese Verbindungen als dauerhaft eingeschätzt. Daten oder hinreichende Informationen über die Dauerhaftigkeit der beiden anderen Verbindungen

¹⁰⁸ DVS R 2225-1, 2016, S. 1 f.

¹⁰⁹ EAG-GTD, 2002, S. 1.

¹¹⁰ DWA-M 512-1, 2012, S. 40.

¹¹¹ Müller, 2001, S. 168.

¹¹² DWA-M 512-1, 2012, S. 34.

waren der Literatur nicht zu entnehmen. Aufgrund der Anfälligkeit der GTD werden die Anbindungen über Anschlusskonsolen schlechter bewertet als eingestellte Spundbohlen.

Für eine Sanierung muss die Arbeitsfläche wieder freigelegt werden. Schadhafte Anbindungen sind auszubessern, oder es ist gegebenenfalls die gesamte Anschlusskonsole auszutauschen. Für eine Reparatur einer angeschlossenen GTD ist die Schutzschicht abzuräumen und eine zusätzliche Dichtungsbahn auf der Schadstelle anzubringen.¹¹³ Die Reparatur von KDB erfolgt analog.¹¹⁴ Der Aufwand wird daher insgesamt als größer als bei einer Dichtungsplombe, aber geringer als bei der Bauwerksgestaltung angenommen. Dementsprechend werden die Sanierungsmöglichkeiten als schlecht bewertet.

4.5. Klemmverbindungen

Beispiele für Klemmverbindungen im Deichbau wurden hauptsächlich für die Anbindung von Dichtungsbahnen ermittelt, was das Anwendungsfeld stark einschränkt. Als positiv zu bewerten ist hingegen, dass Klemmverbindungen grundsätzlich auch nachträglich herstellbar und somit für Reparaturanschlüsse geeignet sind.¹¹⁵

Vergleichbar zu den Anschlusskonsolen hängt die Dichtwirkung von der angeschlossenen Dichtungsbahn und der Verbindung zum Querbauwerk ab. Wie oben bereits ausgeführt, wird für GTD eine Durchlässigkeit von $k = 1 \times 10^{-11}$ m/s als Orientierungswert angenommen. KDB gelten auch hier als flüssigkeitsdicht. Spundwände werden in Abschnitt 4.7. betrachtet. Die Dichtungsbahnen werden über Klemmverbindungen formschlüssig an das Querbauwerk angebunden, was auf eine vergleichbar gute Dichtwirkung wie bei den Anschlusskonsolen schließen lässt. Mit Klemmverbindungen lassen sich demnach ebenfalls besser abdichtende Anbindungen herstellen als es mit dem Düsenstrahlverfahren, mit Injektionsmaßnahmen oder Dichtungsplomben möglich ist.

Die Herstellungskosten von Klemmverbindungen werden exemplarisch für den häufig ausgeführten Anschluss an Betonbauwerke betrachtet. Dort müssen zunächst Löcher in den Beton gebohrt werden, um anschließend die Ankerstangen in diese einbringen zu können. An den Stangen wird der Losflansch befestigt und die Dichtungsbahn zwischen diesem und dem Bauwerk eingeklemmt. Die Arbeiten müssen sehr präzise ausgeführt werden und erfordern entsprechendes Fachpersonal.¹¹⁶ Wie auch bei den Anschlusskonsolen werden über Klemmverbindungen meist Dichtungsbahnen angeschlossen. Folglich wird ebenfalls von einem geringeren Materialverbrauch und maschinentechnischen Aufwand ausgegangen. Klemmverbindungen werden daher unter dem Kriterium der Herstellungskosten analog zu den Anschlusskonsolen bewertet.

¹¹³ EAO, 2002, S. 24.

¹¹⁴ DWA-M 512-1, 2012, S. 40.

¹¹⁵ DVWK 76, 1986, S. 183.

¹¹⁶ Beton- und Stahlbau 106, 2011, S. 4.

Für die Klemmverbindungen sind die Arbeitsflächen ebenfalls freizulegen und die nötigen konstruktiven Details auszuführen. Es wird keine Konsole zwischengeschaltet. Demzufolge muss nur eine Verbindung ausgeführt werden. Wie oben beschrieben, wird daher von einem geringeren Herstellungsaufwand als für Anschlusskonsolen ausgegangen.

Da für den Einbau die Arbeitsfläche freigelegt wird, kann die Maßnahme visuell kontrolliert werden. Mögliche Einbaufehler können somit leichter erkannt und korrigiert werden. Auf die Verletzlichkeit der angebundenen Dichtungsbahnen ist gesondert zu achten. Die Fehleranfälligkeit wird daher analog zu den Anschlusskonsolen bewertet.

Umweltbelastungen sind ebenfalls nicht bekannt. Vergleichbar zu den Anschlusskonsolen sind jedoch die verwendeten Materialien weniger ökologisch als natürliche Baustoffe.

Über Klemmverbindungen werden ebenfalls Dichtungsbahnen an Bauwerke angeschlossen. Die Dauerhaftigkeit der Bahnen ist entsprechend den Anschlusskonsolen zu betrachten. Auch Schlaufen können auf gleiche Weise ausgeführt werden. Im Gegensatz zu den Konsolen ist hier allerdings nur eine Verbindung auszuführen. Vornehmlich kommen Flanschkonstruktionen zum Einsatz. Dies kann an dieser Stelle weder positiv noch negativ bewertet werden, da zu den lediglich für Anschlusskonsolen zum Einsatz kommenden Fügetechniken in der Literatur keine weiteren Informationen aufgeführt werden. Es wird daher davon ausgegangen, dass die unterschiedlichen Verbindungen die Dauerhaftigkeit der Gesamtkonstruktion nicht maßgeblich beeinflussen. Dementsprechend werden die Klemmverbindungen analog zu den Anschlusskonsolen als neutral bewertet.

Für eine Sanierung müsste ebenfalls die Arbeitsfläche freigelegt und schadhafte Verbindungen müssten erneuert werden. Die Dichtungsbahnen sind wie oben beschrieben zu reparieren. Dies lässt darauf schließen, dass auch hier die Sanierungsmöglichkeiten als schlecht bewertet werden können.

4.6. Injektionsmaßnahmen

Aufgrund der Anpassungsfähigkeit an verschiedenste Oberflächen sind Injektionen als Dichtungsmaßnahmen in Deichen sehr vielseitig verwendbar. Es ist jedoch zu beachten, dass die zu injizierenden Böden dafür geeignet sein müssen (siehe Anhang A.1).

Mit Injektionen sind schlüssige Anbindungen an das jeweilige Querbauwerk möglich. Die Dichtheit des Injektionskörpers kann von vielen Faktoren abhängen. Zu beachten ist, dass der zu erwartende Erfolg einer Injektionsmaßnahme immer in Relation zu den Ausgangsparametern gesehen werden muss. So sind der injizierte Boden und seine verfüllbare Porosität maßgebliche Faktoren.¹¹⁷ Darüber hinaus spielen unter anderem das Injektionsmittel, der Abstand zum Injektionspunkt und die Konsolidierungsspannung wesentliche Rollen. Für Abdichtungsinjektionen werden in Hornich (2009) Werte von $k = 1 \times 10^{-6}$ bis 1×10^{-7} m/s für die zu

¹¹⁷ Hornich, 2009, S. 159.

erreichende Durchlässigkeit als Stand der Technik genannt. Mit dem oben genannten Injektionsmittel auf Kunststoffbasis konnte im Vergleich zu dem nicht injizierten Sandboden die Durchlässigkeit um rund 1,5 Zehnerpotenzen (Konsolidierungsspannung 40 kPa) beziehungsweise 2,5 Zehnerpotenzen (Konsolidierungsspannung 80 kPa) verringert werden. Es ergaben sich Werte zwischen $k = 1 \times 10^{-6}$ und 1×10^{-8} m/s bei einer ursprünglichen Durchlässigkeit des injizierten Sandes von rund $k = 1 \times 10^{-5}$ m/s.¹¹⁸ Injektionsmaßnahmen sind folglich unter dem Kriterium der Dichtheit schlechter zu bewerten als Dichtungsplomben, Anschlusskonsolen und Klemmverbindungen.

Um eine Injektionsmaßnahme durchführen zu können, sind verschiedene Gerätschaften und qualifiziertes Personal notwendig.¹¹⁹ Eine mögliche Baustelleneinrichtung ist in Anhang A.6 dargestellt. Diese umfasst eine Pumpe mit zugehörigem Hydraulikaggregat, einen Mischer und ein Rührwerk. Aufgrund der komplexen Baustelleneinrichtung sind deshalb die Herstellungskosten von Injektionsmaßnahmen als hoch einzustufen.¹²⁰

Im Gegensatz zu den bisher betrachteten Anschlusskonstruktionen muss für Injektionsmaßnahmen die Arbeitsfläche nicht freigelegt werden. Nach vorausgehenden Bohrarbeiten wird über ein eingestelltes Rohr das Injektionsgut in den Boden eingebracht. Konstruktive Verbindungen zum Querbauwerk müssen auch nicht hergestellt werden. Der Herstellungsaufwand wird daher geringer eingeschätzt als für Klemmverbindungen, Anschlusskonsolen und eingestellte Spundbohlen.

Für Injektionsarbeiten wird das Querbauwerk nicht freigelegt, weshalb eine visuelle Kontrolle nicht möglich ist. Durchlässigkeitsversuche zur Überprüfung des Erfolges sollten deshalb durchgeführt werden.¹²¹ Mögliche Fehlerquellen sind unter anderem dem Verpressvorgang vorausgehende Bohrarbeiten, eine inhomogene Verteilung des Injektionsmittels oder Fehlstellen in Bereichen mit höherem Feinanteil.¹²² Insgesamt wird daher die Fehleranfälligkeit im Vergleich zu den anderen Anschlusskonstruktionen als hoch eingeschätzt.

Durch Injektionsmaßnahmen kann es zu stärkeren chemischen Beeinflussungen auf das Grundwasser kommen.¹²³ Deshalb gilt es besonders die Toxizität des Injektionsgutes und seine Wirkung auf die Umgebung zu beachten. Auch Belastungen der Umwelt, wie Baugrundbewegungen, Veränderungen des Grundwasserstandes oder eine Verteilung von schädlichen Stoffen durch die Luft, müssen beachtet werden.¹²⁴ Die mögliche Umweltbelastung wird folglich, vor allem gegenüber den anderen Maßnahmen, als hoch eingeschätzt.

Die Dauerhaftigkeit der Injektionsdichtung ist unter anderem abhängig von dem hierfür verwendeten Material. Zement- und Toninjektionen werden als alterungsbeständig eingestuft. Mit Silikatgelen wurden ebenfalls positive Langzeiterfahrungen gemacht. Im Allgemeinen sind

¹¹⁸ Kostkanová, V. et al., 2016, S. 124 – 127.

¹¹⁹ DIN 12715, 2000, S. 14.

¹²⁰ Ingenieurbüro BGS Wasserwirtschaft.

¹²¹ DIN 12715, 2000, S. 17.

¹²² Kostkanová, V. et al., 2016, S. 121.

¹²³ DWA-M 512-1, 2012, S. 63.

¹²⁴ DIN 12715, 2000, S. 19.

Dichtungsmassen aus Suspensionen jedoch nicht frostsicher.¹²⁵ Weiter gilt es zu beachten, dass Injektionen anfällig gegenüber Beeinflussungen aus der Umgebung sein können.¹²⁶ Entsprechende aggressive Stoffe sind in DIN 4030-1 aufgeführt. Eine Bewertung der Dauerhaftigkeit sollte dementsprechend diese Faktoren berücksichtigen. Insgesamt werden nach diesem Kriterium daher die Injektionsmaßnahmen gemeinsam mit dem Düsenstrahlverfahren als die schlechtesten der in dieser Arbeit aufgeführten Anbindungen eingestuft.

Die ursprüngliche Maßnahme kann durch ein neues Injektionsprogramm saniert werden.¹²⁷ Es müssen keine Arbeitsflächen freigelegt oder konstruktive Verbindungen ausgetauscht werden. Daher werden die Sanierungsmöglichkeiten als sehr gut eingeschätzt. Zu beachten ist jedoch, dass die Kosten wahrscheinlich vergleichbar hoch wie die ursprünglichen Herstellungskosten ausfallen werden.

4.7. Düsenstrahlverfahren

Analog zu dem Injektionsverfahren ist auch das Düsenstrahlverfahren vielseitig einsetzbar. Ein Vorteil dieses Verfahrens gegenüber den Injektionen ist die größere Bandbreite an Böden, in denen es verwendet werden kann.¹²⁸

Mit Düsenstrahlelementen sind ebenfalls formschlüssige Anbindungen an das jeweilige Querbauwerk möglich. Es kann eine Durchlässigkeit von $k = 1 \times 10^{-7}$ bis 1×10^{-9} m/s erreicht werden.¹²⁹ Unter dem Kriterium der Dichtheit sind derartige Dichtungselemente folglich zwischen den Injektionen und den Dichtungsplomben einzuordnen.

Für die Ausführung und Beaufsichtigung von Düsenstrahlarbeiten ist entsprechend ausgebildetes und erfahrenes Personal notwendig.¹³⁰ Vergleichbar zum Injektionsverfahren wird eine Vielzahl an Gerätschaften benötigt. Neben dem Bohr- und Düsengerät kommen unter anderem noch eine Mischanlage für die Suspension, ein Silo, verschiedene Pumpen und ein Kompressor zum Einsatz.¹³¹ Es ist zu beachten, dass unter Umständen eine große Menge an Rückflusssuspensionen anfällt, welche wiederum behandelt und entsorgt werden muss.¹³² Aus diesem Grund werden die Herstellungskosten einer Übergangsdichtung mit dem Düsenstrahlverfahren als höher bewertet als die Kosten für Injektionen. Für die Erstellung einer Dichtwand mittels des Düsenstrahlverfahrens kann mit rund 450 EUR/m² Wandfläche gerechnet werden.¹³³ Es sei angemerkt, dass das Düsenstrahlverfahren in aller Regel ein schnelleres Bauen als herkömmliche Injektionen erlaubt.¹³⁴ Daraus resultierende Auswirkungen auf die Kosten des Verfahrens werden für die hier betrachteten Dichtungskörper aufgrund ihrer örtlich begrenzten

¹²⁵ DWA-M 512-1, 2012, S. 56.

¹²⁶ DWA-M 512-1, 2012, S. 65 – 70.

¹²⁷ DWA-M 512-1, 2012, S. 66.

¹²⁸ Berg, 2002, S. 4.

¹²⁹ DWA-M 512-1, 2012, S. 68.

¹³⁰ DIN 12716, 2001, S. 21.

¹³¹ Berg, 2002, S. 8.

¹³² DWA-M 512-1, 2012, S. 69.

¹³³ Ingenieurbüro BGS Wasserwirtschaft.

¹³⁴ Kutzner, 1991, S. 302.

Ausdehnung auf den Übergangsbereich jedoch nicht erwartet. Folglich wird das Düsenstrahlverfahren nach dem Kriterium der Herstellungskosten schlechter eingeschätzt als die Injektionsmaßnahmen.

Wie auch bei den Injektionsmaßnahmen müssen die Arbeitsflächen nicht freigelegt werden, und es sind auch keine weiteren konstruktiven Anbindungen nötig. Der Herstellungsaufwand wird daher analog zu diesen geringer eingeschätzt als für Klemmverbindungen, Anschlusskonsolen und eingestellten Spundbohlen.

Die abzudichtenden Flächen müssen nicht freigelegt werden. Somit besteht keine Möglichkeit einer Sichtprüfung.¹³⁵ Eine potenzielle Fehlerquelle ist die falsche Abschätzung der Abmessungen der Düsenstrahlelemente. Die jeweilige Ausbreitung hängt von dem gewählten Düsenstrahlssystem, den Düsenstrahlparametern sowie der Art und der Heterogenität des Bodens ab.¹³⁶ Für eine genaue Abschätzung können deshalb unter Umständen Vorversuche in entsprechenden Böden notwendig sein. Darüber hinaus können durch Hindernisse im Boden Störstellen im Dichtungskörper auftreten.¹³⁷ Alles in allem wird die Fehleranfälligkeit daher auf gleicher Ebene mit den Injektionsmaßnahmen als sehr hoch eingestuft.

Mögliche auftretende Umweltbelastungen sind: Verunreinigung von Oberflächen- und Grundwasser, Luftverschmutzung, unzulässige Veränderungen der Grundwasserbewegung, Lärm und im Baugrund oder am Querbauwerk hervorgerufene Bewegungen.¹³⁸ Diese Aspekte gilt es bei der Planung und Durchführung der Arbeiten zu berücksichtigen. Chemische Beeinflussungen der Umgebung sind nicht bekannt. Insgesamt wird dieses Verfahren hier daher besser bewertet als die Injektionsmaßnahmen.

Für Dichtungselemente, die im Düsenstrahlverfahren aus Zement, Bentonit und Boden hergestellt wurden, sind keine alterungsbedingten Schäden bekannt.¹³⁹ Im Allgemeinen sind die aus Suspensionen erstellten Dichtungskörper jedoch nicht frostsicher.¹⁴⁰ Die in DIN 4030-1 aufgeführten Stoffe sind bei der Bewertung der Dauerhaftigkeit ebenfalls zu beachten. Analog zu den Injektionen werden Düsenstrahlelemente unter dem Gesichtspunkt der Dauerhaftigkeit daher schlechter als die anderen ermittelten Konstruktionen eingeschätzt.

Im Zuge von Sanierungsmaßnahmen werden weitere Dichtungselemente erstellt, die für eine Abdichtung der entsprechenden Stellen sorgen.¹⁴¹ Arbeitsflächen am Querbauwerk müssen nicht freigelegt werden, und es sind auch keine konstruktiven Verbindungen auszutauschen. Die Sanierungsmöglichkeiten werden daher, entsprechend zu den Injektionsmaßnahmen, als hoch eingeschätzt. Auch hier ist jedoch zu beachten, dass die Kosten vergleichbar hoch wie die ursprünglichen Herstellungskosten ausfallen werden.

¹³⁵ Berg, 2002, S. 3.

¹³⁶ DIN 12716, 2001, S. 17.

¹³⁷ DWA-M 512-1, 2012, S. 72.

¹³⁸ DIN 12716, 2001, S. 27.

¹³⁹ DWA-M 512-1, 2012, S. 72.

¹⁴⁰ DWA-M 512-1, 2012, S. 56.

¹⁴¹ DWA-M 512-1, 2012, S. 72.

4.8. Eingestellte Spundbohle

Das Einstellen einer Spundbohle ist lediglich in die noch nicht ausgehärtete Suspension einer Dichtwand möglich. Folglich ist die Verwendbarkeit sehr begrenzt.

Die Dichtheit des Übergangsbereiches wird in diesem Fall von der Anbindung der letzten Spundbohle an das Querbauwerk und eventuelle Schlossverbindungen zwischen den einzelnen Bohlen bestimmt. Dies sind die einzigen Stellen, durch welche eine relevante Durchsickerung erfolgen kann.¹⁴² Eine Stahlspundbohle an sich ist vollständig dicht.¹⁴³ In Abhängigkeit von den Anforderungen an die Dichtheit und Beweglichkeit können verschiedene Anbindungstechniken gewählt werden und so dichte Anschlüsse hergestellt werden. Die Schlösser können auf verschiedene Weisen abgedichtet werden. Verwendung finden bituminöse Füllmassen, wasserquellendes Dichtmittel oder in das Schloss eingesetzte elastische, profilierte Dichtungen. Kombinationen aus zwei Verfahren sind ebenfalls möglich.¹⁴⁴ Die Wasserdichtheit von Spundwandschlössern kann nach DIN 12063 Anhang E beurteilt werden. Es kann eine Durchlässigkeit von $k = 6 \times 10^{-8}$ m/s für bituminöse Schlossdichtungen und $k = 3 \times 10^{-10}$ m/s für Quelldichtungen angesetzt werden. Werden alle Schlösser durch Schweißen abgedichtet, ist von keiner Durchsickerung mehr auszugehen.¹⁴⁵ An dieser Stelle sei angemerkt, dass bei Spundwänden im Vergleich zu den anderen Dichtungen nur eine geringere Fläche durchströmt wird, da die einzelnen Bohlen an sich vollkommen dicht sind. Daher wird davon ausgegangen, dass bei einer Gesamtbetrachtung der Dichtheit die eingestellten Spundbohlen, trotz größerer Durchlässigkeit in den Schlössern, auf einer Ebene mit den Anschlusskonsolen und Klemmverbindungen eingestuft werden können.

Für das Einbringen einer Spundbohle sind schwere Gerätschaften notwendig.¹⁴⁶ Für Spundwände kann mit rund 250 EUR/m² Wandfläche inklusive des Einbaus gerechnet werden.¹⁴⁷ Nach dem Kriterium der Herstellungskosten ist diese Anschlusskonstruktion somit besser zu bewerten als das Düsenstrahlverfahren. Da für die Herstellung von Injektionsmaßnahmen im Rahmen der Recherche keine Preisangaben ermittelt werden konnten, fällt hier der Vergleich schwerer. Aufgrund der aufwändigen Baustelleneinrichtung für Injektionen wird diese Maßnahme jedoch als teurer als eingestellte Spundbohlen eingeschätzt.

Da die Anbindung meist über Anschlusskonsolen bewerkstelligt wird, sind ebenfalls zwei konstruktive Verbindungen notwendig. Auch die Arbeitsflächen sind freizulegen. Dementsprechend wird der Herstellungsaufwand analog zu den Anschlusskonsolen als sehr hoch eingeschätzt.

Eine mögliche Fehlerquelle ist das Herausspringen der Schlossverbindungen. Dies kann jedoch durch entsprechende Detektoren kontrolliert werden. Die Anbindung an das Querbauwerk kann visuell kontrolliert werden. Da in diesem Fall keine verletzlichen Dichtungsbahnen an-

¹⁴² BAW Brief, 2015, S. 1.

¹⁴³ ArcelorMittal, Die Dichtheit von Spundwandbauwerken, S. 2.

¹⁴⁴ DIN 12063, 1999, S. 46.

¹⁴⁵ ArcelorMittal, Die Dichtheit von Spundwandbauwerken, S. 15.

¹⁴⁶ DWA-Themen, 2005, S. 24.

¹⁴⁷ Ingenieurbüro BGS Wasserwirtschaft.

gebunden werden, wird die Fehleranfälligkeit insgesamt geringer eingeschätzt als bei den oben vorgestellten Anschlusskonsolen und Klemmverbindungen.

Materiell bedingte Umweltbelastungen durch Stahlspundwände sind in der Literatur nicht aufgeführt. Allerdings ist Stahl als Baustoff weniger ökologisch zu sehen als natürliche Materialien. Durch das Einbringverfahren hervorgerufene Einwirkungen auf umliegende Gebäude und Anlagen sowie besondere Maßnahmen zum Lärmschutz müssen gegebenenfalls beachtet werden.¹⁴⁸ Daher werden die möglichen Belastungen auf die Umwelt größer eingeschätzt als bei Anschlusskonsolen und Klemmverbindungen.

Stahlspundwände sind weitgehend unempfindlich gegenüber Setzungen, sie sind erosionssicher und resistent gegenüber Durchwurzelungen. In unbelasteten, natürlichen Böden ist die Korrosion meist vernachlässigbar.¹⁴⁹ Stahlspundwände werden daher als alterungsbeständig eingestuft. Dies macht die Verbindung zum Querbauwerk und die Verbindungen zwischen den einzelnen Bohlen untereinander zu den entscheidenden Faktoren für die Dauerhaftigkeit der Gesamtmaßnahme. Im Normalfall wird mit keinen größeren Belastungen auf die Spundwandschlösser und folglich keinem Versagen an diesen Stellen zu rechnen sein. Die Verbindungen zu Querbauwerken werden meist über einbetonierte Elemente oder Flanschkonstruktionen ausgeführt. Der hier verwendete Werkstoff ist im Regelfall Stahl. Daher werden auch diese Verbindungen und somit die Gesamtmaßnahme als dauerhaft bewertet. Alles in allem wird diese Anbindungsmethode aufgrund der im Vergleich zu GTD geringeren Anfälligkeit der Dichtung gegenüber äußerlichen Angriffen und Beanspruchungen besser eingeschätzt als Anschlusskonsolen und Klemmverbindungen.

Eine fallweise Sanierung der Schlösser ist durch Einpressen geeigneter Stoffe möglich. Hierfür kommen Bentonite, Suspensionen und Gele in Betracht.¹⁵⁰ Im Kapitel 8 der EAU (2012) sind weitere Beispiele für Sanierungsmaßnahmen zu finden. Für Reparaturarbeiten an der Verbindung zum Querbauwerk müssten entsprechende Stellen freigelegt und schadhafte Verbindungen beziehungsweise Anschlusskonsolen ausgetauscht werden. Da nur in letzterem Fall eine Freilegung der Arbeitsflächen nötig ist, werden die Sanierungsmöglichkeiten für eingestellte Spundbohlen besser eingeschätzt als für Anschlusskonsolen und Klemmverbindungen. Folglich werden sie in der Bewertungsskala als neutral eingestuft.

4.9. Zusammenstellung der Ergebnisse

In der nachfolgenden Tabelle 2 sind die Bewertungen der einzelnen Anschlusskonstruktionen nach den aufgestellten Kriterien zusammengestellt. Die Identifizierung einer eindeutig besten Option wird nicht immer möglich sein. Es bleibt daher dem Planer / der Planerin die Aufgabe, die Kriterien an die Erfordernisse der jeweiligen Anwendungssituation angepasst zu gewichten und gegeneinander abzuwägen. So wäre es beispielsweise denkbar, dass bei hohen Anforderungen einer Maßnahme an die Dichtheit auch große Herstellungskosten toleriert werden.

¹⁴⁸ DIN 12063, 1999, S. 26.

¹⁴⁹ DWA-M 512-1, 2012, S. 104 – 109.

¹⁵⁰ DWA-M 512-1, 2012, S. 109.

Tabelle 2: Bewertung der Anschlusskonstruktionen anhand der ermittelten Kriterien

Kriterien	Anschlusskonstruktionen						
	Bauwerks- gestaltung	Dichtungs- plomben	Anschluss- konsolen	Klemmver- bindungen	Injektions- maßnahmen	Düsenstrahl- verfahren	Eingestellte Spundbohle
Vielseitige Ver- wendbarkeit	--	++	+	0	++	++	-
Dichtheit	--	+	++	++	-	0	++
Herstellungskosten	++	0	+	+	-	--	0
Herstellungsauf- wand	++	0	--	-	+	+	--
Fehleranfälligkeit beim Einbau	++	+	-	-	--	--	0
Umweltbelastung	++	++	+	+	--	-	0
Dauerhaftigkeit	++	-	0	0	--	--	+
Sanierungsmög- lichkeiten	--	+	-	-	++	++	0

Legende: „++“ = sehr gut / „+“ = gut / „0“ = neutral / „-“ = schlecht / „--“ = sehr schlecht

5 Erprobungsmöglichkeiten im wasserbaulichen Forschungslabor

Nachdem die verschiedenen Anschlusskonstruktionen vorgestellt und im Vergleich zueinander bewertet wurden, soll in diesem Kapitel - auf der Basis theoretischer Überlegungen - betrachtet werden, wie und in welchem Umfang sie im wasserbaulichen Forschungslabor der TU Darmstadt erprobt werden könnten.

5.1. Ausgangssituation und Laborparameter

Für mögliche Versuche steht eine Rinne von 1 m Breite, etwa 2,5 m Tiefe und rund 30 m Länge zur Verfügung. Die Seitenwände sind zu weiten Teilen aus Plexiglas aufgebaut und gewähren so einen seitlichen Einblick. In regelmäßigen Abständen ist die Glasscheibe durch zur Rinne hin mit Beton abgedeckte Stahlträger unterbrochen. Der Boden der Rinne besteht ebenfalls aus Beton. In der Versuchsrinne ist bereits ein Deichmodell im halbtechnischen Maßstab aufgebaut. Dieses Modell ist rund 2 m hoch und hat eine Böschungsneigung von 1:1,5. Der Deichkörper besteht aus dem Lehmmaterial eines Altdeiches, das mit einem hydraulischen Bindemittel homogen vermischt wurde. Das aktuelle Deichmodell ist folglich bereits abgedichtet. Nachstehende Ausführungen beziehen sich folglich auf zukünftig zu errichtende Deichmodelle.

5.2. Einschränkungen und allgemeine Überlegungen

Zunächst gilt es zu überlegen, welche Einschränkungen durch die Versuchsanordnung im Vergleich zu möglichen realen Anwendungssituationen vorgegeben werden. Diese sind bei der Planung zu berücksichtigen.

Zum einen sind hier die begrenzten Platzverhältnisse – sowohl in der Breite als auch in der Höhe – aufzuführen. Eine Maßnahme zur Abdichtung des Übergangsbereiches die bereits die gesamte Breite der Rinne einnimmt, scheint nicht zielführend zu sein. Inwieweit dies ein Ausschlusskriterium zur Untersuchung der Dichtungsanbindung in der Versuchsrinne darstellen kann, bleibt für die jeweiligen Anschlusskonstruktionen im Einzelfall zu betrachten.

Zum anderen gilt es zu bedenken, dass es aufgrund der starren Bodenplatte zu keinen Setzungsdifferenzen im Untergrund zwischen der Wandung und dem angrenzenden Deichkörper kommen wird. In der Praxis hingegen treten diese oftmals auf und können so zu bevorzugten Sickerwegen führen.¹⁵¹ Inwieweit mögliche Setzungen des Deiches in sich selbst zu einem relativen Setzungsunterschied zur starren Wandung führen, wird vom jeweiligen Grad der Verdichtung des Bodenmaterials abhängen und bleibt zu untersuchen.

Des Weiteren muss beachtet werden, dass die Wandung der Rinne zu großen Teilen aus Plexiglas aufgebaut ist. In dieser Arbeit werden jedoch Anbindungen an Betonwände, Stahl-

¹⁵¹ LUBW, 2007, S. 26.

spundwände und verschiedene Leitungsoberflächen behandelt. Die entsprechenden Anschlussflächen müssten also geschaffen werden. Eine seitlich eingebrachte und mit der Rinne wandung dicht verbundene Platte aus Beton könnte eine Betonwand simulieren. Die Anforderungen an die Dicke der Betonplatte können je nach Anschlusskonstruktion variieren. Im Allgemeinen sollte es jedoch zu keiner übermäßigen Einengung in der Versuchsrinne kommen. Als positiver Nebeneffekt würde die Plexiglaswandung vor Beschädigungen geschützt werden. Darüber hinaus könnten die Platten so eingebracht und gelagert werden, dass sie auch nach dem Einbau noch bewegt werden können. Auf diese Weise wären, trotz steifer Bodenplatte, Relativbewegungen zwischen Deichkörper und Bauwerkswand simulierbar. Negativ zu sehen ist hingegen die aus der Maßnahme resultierende Einschränkung der Sichtverhältnisse auf das Deichmodell. Seitlich eingestellte Spundwände erscheinen nicht praktikabel. Herstellerangaben zufolge haben diese in den Spundwandtälern bereits eine Tiefe von etwa 30 – 50 cm.¹⁵² Die Rinne wäre dementsprechend in ihrer Breite bereits fast vollständig durch die Bohle ausgefüllt. Demnach werden seitlich eingestellte Spundwände als mögliche Anschlussflächen in den folgenden Ausführungen über die Modellversuche nicht weiter betrachtet. Als Übergangs- oder als Deichdichtung eingebrachte Spundbohlen bleiben eine Option. An den entsprechenden Stellen wird diese Thematik genauer untersucht.

Eine Leitung könnte mittig durch das Deichmodell geführt werden. Dies erscheint bei der Wahl eines ausreichend geringen Durchmessers zunächst unproblematisch. Allerdings ist zu beachten, dass in jedem Fall eine seitliche Anbindung der Dichtung an die Wandung der Rinne erfolgen muss. Wird zusätzlich eine Leitung durch das Deichmodell geführt, verschärft dies die Problematik der beengten Platzverhältnisse.

Auch die Anbindung an den Untergrund stellt ein Problem dar. Im Übergangsbereich zwischen dem Deichmaterial und der Bodenplatte aus Beton könnte sich ein bevorzugter Sickerweg ausbilden. Eine Möglichkeit wäre, die Deichdichtung entsprechend des seitlichen Anschlusses auch an den Untergrund anzubinden. Hierbei ist allerdings zu beachten, dass dies für eine vollkommene Dichtung sorgen würde. In der Praxis werden jedoch aus technologischen und ökonomischen Gründen zu über 90% nur unvollkommene Dichtungen hergestellt.¹⁵³ Folglich würden Anbindungen an die Bodenplatte die Repräsentativität der Versuche einschränken. Es bleibt also zu überlegen, wie die Simulation einer unvollkommenen Dichtung möglich sein könnte, ohne dabei einen bevorzugten Sickerweg zuzulassen. Eine auf die Bodenplatte aufgebrachte Bodenschicht, auf welcher wiederum das Deichmodell aufgebaut wird, könnte eine Option sein.

Schließlich gilt es noch zu beachten, dass die Rinne, um Beschädigungen zu vermeiden, keinen übermäßigen Belastungen ausgesetzt werden sollte. Das herkömmliche Einbringen von Spundbohlen scheidet dementsprechend aus.

¹⁵² ArcelorMittal, Stahlspundwände Gesamtkatalog 2012, S. 8 – 15.

¹⁵³ Kostkanová, V. et al., 2016, S. 119.

5.3. Erprobungsmöglichkeiten der Anschlusskonstruktionen

In diesem Abschnitt werden Überlegungen darüber angestellt, inwieweit sich die einzelnen Anschlusskonstruktionen für Modellversuche in der Wasserbaulinie eignen und wie sie jeweils umgesetzt werden könnte. Oben aufgeführte Einschränkungen und Probleme gilt es dabei zu beachten.

5.3.1. Bauwerksgestaltung

Über seitlich eingebrachte und entsprechend gestaltete Platten erscheinen die möglichen Konstruktionsdetails einer Betonwand gut simulierbar. Sie müssten mit der Rinnenwandung dicht verbunden werden, und anschließend wäre das Material der mineralischen Oberflächen- oder Innendichtung anzubinden. Wird von einer Deichmodellhöhe von 2 m ausgegangen und eine Anschlussfläche mit einer Neigung von 10:1 (vgl. Abschnitt 3.1.1.) hergestellt, so würde dies eine beidseitige Einengung der Rinnenbreite an der Bodenplatte von 20 cm bedeuten. Dies scheint in einem vertretbaren Rahmen zu liegen. Sporne könnten in einem entsprechend kleineren, an das Deichmodell angepassten Maßstab ausgeführt werden.

5.3.2. Dichtungsplomben

An dieser Stelle muss zwischen den verschiedenen Dichtungsarten unterschieden werden, die über Plomben anschließbar sind. Die hier aufgeführten Kontakt- und Überlappungslängen sind in Abschnitt 3.1.2. erläutert. Für den Anschluss von Dichtungsbahnen an eine Betonwand sind Überlappungslängen von mindestens 0,8 m nötig. Durch die beidseitig hineinragenden Dichtungskeile wäre bereits die gesamte Breite der Rinne abgedichtet. Folglich kann über Dichtungsplomben keine repräsentative Anbindung von Dichtungsbahnen simuliert werden. Für die Anbindung einer mineralischen Dichtung sind Kontaktlängen zur Wandung von mindestens 0,8 m gefordert. Hierfür müsste das Deichmodell eine entsprechende Breite aufweisen. Da die Versuchsrinne rund 30 m lang ist, sollte dies jedoch realisierbar sein. Die Keile bestehen bereits aus dem Material, das auch gleichzeitig die Dichtung des Deiches darstellt. Dass die Dichtungskeile einen Großteil der Rinnenbreite ausfüllen werden, dürfte die Repräsentativität der Versuchsergebnisse daher nicht einschränken.

Diese Überlegungen sind analog auf die Anbindung an Leitungen übertragbar. Zu Dichtungsbahnen wird hier eine von der Rohrwand umlaufende Überlappungslänge von mindestens 0,6 m gefordert. Dies wirkt als Ausschlusskriterium. Die Anbindung von mineralischen Dichtungen sollte möglich sein.

5.3.3. Anschlusskonsolen

Über angeklebte Anschlusskonsolen sollte die Anbindung von KDB an Betonwände ohne weitere Einschränkungen herstellbar sein. Der Platzverbrauch wird als minimal angesehen. Mit-

hilfe von einbetonierten Elementen könnten sowohl KDB als auch GTD angebunden werden. Wie tief die Einbindung der Konsolen in den Beton hierbei reichen muss, war der Literatur nicht zu entnehmen. An dieses Maß müsste die Dicke der seitlich eingestellten Platten angepasst werden. Von einer daraus resultierenden übermäßigen Einengung der Rinnenbreite wird jedoch nicht ausgegangen. Daher sollte auch diese Anschlusskonstruktion eine mögliche Option für zukünftige Versuche darstellen.

Typische Maße der für die Anbindung von Dichtungsbahnen an Leitungen zur Anwendung kommenden Rohrkrägen sind in der Literatur nicht angegeben. Vor allem da über die Leitungsanbindung hinaus noch die seitlichen Anbindungen der Dichtungsbahn an die Rinnenwandung notwendig sind, wird davon ausgegangen, dass die gegebenen Platzverhältnisse nicht ausreichen.

5.3.4. Klemmverbindungen

In der DIN-Norm 18195-9 zu Bauwerksabdichtungen sind Regelabmessungen zu Klemmkonstruktionen zu finden. Eine Mindestlänge für die Ankerstangen ist jedoch weder in dieser Norm noch in der weiteren Literatur aufgeführt. Die Dicke der seitlich eingestellten Betonplatten wäre daran anzupassen und würde dementsprechend zu einer Einengung der Rinne führen. An dieser Stelle wird davon ausgegangen, dass die benötigte Ankerstangenlänge ein für die Versuche verträgliches Maß nicht überschreitet. Unter dieser Annahme sollte eine Anbindung von Dichtungsbahnen über Klemmverbindungen auch innerhalb der Versuchsrinne ohne weitere Einschränkungen möglich sein.

Für die Anbindung an Leitungen muss im Durchdringungsbereich ein ausreichend festes Platum geschaffen werden (vgl. Abschnitte 3.1.3 und 3.1.4.). Ein Kragen aus Beton, wie er hierfür oftmals zur Anwendung kommt, wirkt an dieser Stelle nicht zielführend. Zwar sind in der Literatur keine typischen Abmessungen genannt, allerdings wird davon ausgegangen, dass ein solcher Kragen bereits einen Großteil der Rinne ausfüllen würde. Für reale Anwendungsfälle sind die Versuchsergebnisse somit wenig repräsentativ. Folglich wäre zu prüfen, ob bereits durch eine Verdichtung des Stützkörpers im Durchdringungsbereich ein ausreichend fester Untergrund für eine sichere Anbindung der Dichtungsbahn geschaffen werden kann.

5.3.5. Injektionsmaßnahmen

In der Theorie konnten keine Ausschlusskriterien für die Erprobung von Injektionsmaßnahmen im Deichmodell ermittelt werden. Es sollte jedoch unter wirtschaftlichen Gesichtspunkten abgewogen werden, ob die möglichen Resultate in einem angemessenen Verhältnis zu dem Herstellungsaufwand stehen würden. Darüber hinaus wird die Anordnung der für die Maßnahme nötigen Gerätschaften in der Versuchshalle wahrscheinlich Probleme bereiten. Dennoch ist die Simulation einer Anbindung von mineralischen Dichtungen an Betonwände und Leitungen mittels Injektionsmaßnahmen denkbar. Neben dem eben genannten Anwendungsfeld kommen Injektionen vielfach im Übergangsbereich zu Dichtwänden zum Einsatz.

Demnach muss überlegt werden, welche dieser Dichtwände unter den Laborbedingungen ausführbar sind. Für die Erstellung von Schmalwänden wird ein Stahlprofil in den Boden vibriert, um anschließend die Suspension einbringen zu können.¹⁵⁴ Es wird davon ausgegangen, dass dieser Vorgang zu große Belastungen auf die Rinne erzeugen würde. Im Zuge der Herstellung von Schlitzwänden wird im Deichkörper ein Schlitz ausgehoben und dieser anschließend mit dem Dichtmedium aufgefüllt.¹⁵⁵ Herkömmliche Aushubwerkzeuge sind für das Deichmodell zu groß. Die Verwendung von entsprechend kleineren Gerätschaften wäre jedoch vorstellbar. Spundwände werden durch Rammen, Rütteln oder Pressen in den Boden eingebracht.¹⁵⁶ Es wird davon ausgegangen, dass die hierbei auftretenden Belastungen für die Rinne zu groß sind. Folglich scheiden nachträglich in den Deichkörper eingebrachte Bohlen aus. Denkbar ist es jedoch, die Bohlen in die Versuchsrinne einzustellen und zu fixieren und erst im Nachgang das Deichmaterial anzubringen. Diese Möglichkeit wäre zwar sehr aufwändig zu realisieren, aber machbar. Spundbohlen sind in nahezu beliebigen Längen lieferbar. Daher wirkt die geringe Höhe des Deichmodells hier nicht als Ausschlusskriterium. Auch unter den Bedingungen der Versuchshalle sind Anbindungen von Schlitzwänden und Spundwänden mittels Injektionsmaßnahmen an Betonwände denkbar.

Die Erprobung einer Abdichtung zwischen den Dichtwänden und einer Leitung wird vergleichbar zu anderen Anschlusskonstruktionen aus Platzgründen nicht realisierbar sein. Anstelle einer zusätzlich eingebrachten Dichtwand, wäre jedoch eine Injektionswand über die gesamte Breite der Rinne denkbar. Über diese könnte eine Leitung an die Rinnenwandung angebunden werden.

5.3.6. Düsenstrahlverfahren

Für das Düsenstrahlverfahren gelten grundsätzlich die gleichen Überlegungen wie für die Injektionsmaßnahmen. Darüber hinaus müssen zusätzlich die hohen Drücke beachtet werden, die bei der Erstellung der Dichtungskörper zum Einsatz kommen. Der geforderte Sicherheitsabstand von rund 1,5 bis 2 m zur ungeschützten Deichoberfläche kann im Deichmodell in der Versuchsrinne nicht eingehalten werden. Um ein Aufbrechen der Oberfläche zu vermeiden, muss sie in diesem Fall zusätzlich abgedeckt werden.¹⁵⁷

5.3.7. Eingestellte Spundbohle

Für die Anwendung von Spundbohlen in der Versuchsrinne gelten die bereits in Abschnitt 5.3.5. formulierten Überlegungen. Vergleichbar zu den Konsolen hängt die Dicke der Betonplatten von der benötigten Einbindetiefe der Anschlusselemente ab. Weiter gilt es zu beachten, dass durch die Bohlen gewisse Breiten vorgegeben werden. Beispielhaft werden hier die

¹⁵⁴ DWA-M 512-1, 2012, S. 81.

¹⁵⁵ DWA-M 512-1, 2012, S. 74.

¹⁵⁶ DWA-M 512-1, 2012, S. 104.

¹⁵⁷ DWA-M 512-1, 2012, S. 72.

Maße von einem der vielen Hersteller genannt.¹⁵⁸ Für Z-Profile sind Breiten zwischen 580 und 770 mm angegeben. Da die beiden Enden einer Z-Bohle nicht in der gleichen Ebene liegen, sind zwei Bohlen notwendig, um wieder in die Anschlussebene zu kommen. Es wäre daher mit dem doppelten Maß zu kalkulieren. Die Breite der Rinne würde dadurch überschritten werden. Für U-Profile liegen die Breiten zwischen 400 und 750 mm. Da bei dieser Ausführung die beiden Enden in einer Ebene liegen, wäre nur eine Bohle notwendig. Durch die entsprechend eingerückten seitlichen Platten könnte die Breite der Rinne auf die Abmessungen der Bohle angepasst werden. Aufgrund der oben genannten Maße und der vorgegebenen Rinnenbreite erscheint es ausgeschlossen, die Spundbohlen zusätzlich in eine Dichtwand aus selbsthärtender Suspension einzustellen. Folglich kann nur der Übergang einer Spundbohle zu einer Betonwand simuliert werden. Dies ist allerdings auch das relevantere Detail der Anschlusskonstruktion, da es außerdem den Übergang zu einer als Deichdichtung fortgeführten Spundwand realisieren kann.

Auch die zusätzliche Simulation eines Anschlusses an eine Leitung ist angesichts der begrenzten Breite der Rinne und den vorgegebenen Maßen der Spundbohlen nicht realisierbar.

5.3.8. Zusammenstellung der Ergebnisse

In der folgenden Tabelle 3 sind die Einschätzungen zu den Erprobungsmöglichkeiten der verschiedenen Anschlusskonstruktionen in der Versuchsrinne des wasserbaulichen Forschungslabors zusammengestellt. Das Detail der günstigen Bauwerksgestaltung wird in dieser Tabelle nicht berücksichtigt, da es keine Anbindung an eine der drei Anschlussflächen realisiert, sondern vornehmlich die Anschlussfläche an sich verbessert.

Tabelle 3: Erprobungsmöglichkeiten in der wasserbaulichen Versuchsrinne

Anschlusskonstruktionen	Anschlussflächen		
	Betonwand	Leitung	Spundwand
Dichtungsplomben	0	0	–
Anschlusskonsolen	+	–	–
Klemmverbindungen	+	0	–
Injektionsmaßnahmen	0	0	–
Düsenstrahlverfahren	0	0	–
Eingestellte Spundbohle	0	–	–

Legende: „+“ = ja / „0“ = mit Einschränkungen / „–“ = nein

¹⁵⁸ ArcelorMittal, Stahlsplundwände Gesamtkatalog 2012, S. 8 – 15.

6 Fazit

Ziel der vorliegenden Bachelor-Thesis war es, einen Überblick über die auf dem Markt befindlichen Lösungen für die Abdichtung des Übergangsbereiches zwischen Deichdichtungen und Querbauwerken zu geben, die ermittelten Anschlusskonstruktionen in der Folge zu bewerten und zu vergleichen und schließlich Überlegungen bezüglich ihrer Erprobungsmöglichkeiten in der Versuchsrinne des wasserbaulichen Forschungslabors der TU Darmstadt anzustellen. Da die einzelnen Punkte aufeinander aufbauen, wurden sie in der oben genannten Reihenfolge bearbeitet. Die Ergebnisse der letzten zwei Punkte wurden am Ende des jeweiligen Kapitels in einer Tabelle zusammengestellt. Auf diese Weise wird ein umfassender Überblick gegeben.

Die Ermittlung der verschiedenen Dichtungsanbindungen lieferte die Grundlage für die darauf folgenden Überlegungen. Es stellte sich heraus, dass für jede der möglichen Ausgangssituationen jeweils mehrere Anschlusslösungen denkbar sind (vgl. Tabelle 1). Folglich stehen in einem möglichen Planungsprozess immer mehrere Optionen zur Auswahl. Um in entsprechenden Situationen eine Entscheidung treffen zu können, war eine Bewertung der vorhandenen Möglichkeiten notwendig. Diese wurde in dem darauffolgenden Kapitel 4 vorgenommen.

Anhand von Kriterien, die am Leitfaden eines möglichen Planungsprozesses entwickelt wurden, wurden hier die einzelnen Anschlusskonstruktionen bewertet und untereinander verglichen. Stellenweise traten Schwierigkeiten bei der Bewertung auf, da der einsehbaren Literatur nur unzureichende Informationen zu entnehmen waren und auch ein Einblick in die Praxis in der erforderlichen Breite nicht möglich war. In diesen Fällen wurden Analogien aufgezeigt und eigene, begründete Einschätzungen getroffen. Insgesamt zeigte sich jedoch, dass nach den verschiedenen Bewertungskriterien jede der Anbindungstechniken ihre Vor- und Nachteile hat (vgl. Tabelle 2). Es konnte keine Konstruktion ermittelt werden, die sich stets als die beste Option auszeichnen würde. Die Entscheidung für eine bestimmte Konstruktion hängt letztlich von der Gewichtung der Kriterien entsprechend den Erfordernissen des Einzelfalls ab. Diese Gewichtung bleibt jeweils gesondert durchzuführen.

Um eine Grundlage für zukünftige Modellversuche in der Versuchsrinne des wasserbaulichen Forschungslabors der TU Darmstadt zu schaffen, wurden die Erprobungsmöglichkeiten der einzelnen Anschlusskonstruktionen unter den durch die Versuchsanordnung vorgegebenen Einschränkungen betrachtet. Dabei ergab sich, dass vor allem die seitliche Begrenzung der Rinne und daraus resultierend die geringe Breite des Deichmodells für viele der Ausführungsvarianten bereits ein Ausschlusskriterium darstellt. So scheiden seitlich eingestellte Spundbohlen aufgrund ihrer Abmessungen als Anschlussfläche aus. Auch die Anschlüsse an Leitungen sind in vielen Fällen nicht ausführbar. Anbindungen an Betonwände, die über seitlich eingestellte Platten simuliert werden, lassen sich hingegen verhältnismäßig gut ausführen. Des Weiteren ließ sich sagen, dass hierfür Anschlusskonsolen und Klemmverbindungen besonders gut geeignet sind (vgl. Tabelle 3). Allein diese zwei Optionen erscheinen in der Versuchsrinne ohne weitere Einschränkungen ausführbar zu sein.

Im Rahmen dieser Bachelor-Thesis wird somit eine Grundlage für die Planung einer Deichabdichtungsmaßnahme im Übergangsbereich zu einem Querbauwerk geschaffen. Die Zusammenstellung der Anschlusskonstruktionen zeigt die jeweiligen Möglichkeiten auf und dient als Orientierung. Die anschließende Bewertung und der Vergleich dieser Dichtungsanbindungen ermöglichen eine erste Einschätzung und erleichtern den Auswahlprozess. Der Planer / die Planerin einer entsprechenden Maßnahme kann folglich anhand von Tabelle 1 die für die Ausgangssituation passenden Anschlusskonstruktionen identifizieren und diese anschließend nach den einzelnen Bewertungskriterien anhand von Tabelle 2 vergleichen. Das letzte Kapitel liefert Kriterien und Hinweise für die Erprobungsmöglichkeiten in der Versuchsrinne. Diese dienen als Grundlage, um in praktischen Versuchen die Tauglichkeit der vorgestellten Dichtungsanbindungen zu überprüfen. Um auch die Ausführungsvarianten erproben zu können, die unter den Rahmenbedingungen des zur Verfügung stehenden Forschungslabors ausscheiden, sollten zusätzlich Versuche in größerem Maßstab durchgeführt werden. Auf diese Weise kann ein lückenloser Gesamtkatalog entstehen.

Literaturverzeichnis

ArcelorMittal: Stahlspundwände. Stahlspundwände in Hochwasserschutz und Kanaldeichen.
http://sheetpiling.arcelormittal.com/uploads/files/AMCRPS_Hochwasserschutz_DE.pdf
(eingesehen am: 22.02.2017).

ArcelorMittal: Stahlspundwand. Die Dichtheit von Spundwandbauwerken.
http://sheetpiling.arcelormittal.com/uploads/files/AMCRPS_Dichtheit_DE.pdf
(eingesehen am: 24.03.2017).

ArcelorMittal: Stahlspundwände. Gesamtkatalog 2012.
http://spundwand.arcelormittal.com/uploads/files/AMCRPS_Gen_Cat_DE_2012.pdf
(eingesehen am: 29.03.2017).

Arbeitskreis Flussdeiche (1971): Empfehlungen für Flussdeiche. Deutscher Verband für Wasserwirtschaft e. V. (DVWW), Landesarbeitsgemeinschaft Wasser (LAWA), Deutsche Gesellschaft für Erd- und Grundbau e. V. (DGEG), Essen.

BAM (1999): Richtlinie für die Zulassung von Kunststoffdichtungsbahnen als Bestandteil der Kombinationsabdichtung zur Abdichtung von Deponien und Altlasten. Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung (BAM), Berlin.

BAW Brief (2015): Wasserdruckansätze zur statischen Berechnung von Uferspundwänden an Kanalstrecken (ohne Hochwasser- und Tideeinfluss). Bundesanstalt für Wasserbau (BAW), Karlsruhe.

BAW Merkblatt MMB (2013): Materialtransport im Boden (MMB). Bundesanstalt für Wasserbau (BAW), Karlsruhe.

BAW Merkblatt MSD (2011): Standsicherheit von Dämmen an Bundeswasserstraßen (MSD). Bundesanstalt für Wasserbau (BAW), Karlsruhe.

BAW Richtlinie RPW (2015): Richtlinie für die Prüfung und den Einbau von mineralischen Weichdichtungen (RPW). Bundesanstalt für Wasserbau (BAW), Karlsruhe.

Kostkanová, V. et al. (2016): Abdichtung von Damm- und Deichkörpern mittels kunststoffbasierter Dichtungssysteme, in BAW Mitteilungen Nr. 99. Bundesanstalt für Wasserbau (BAW), Karlsruhe, S. 119 – 128.

Berg, J. (2002): Das Düsenstrahlverfahren im Spezialtiefbau: Voraussetzungen – Planung – Ausführung, Renningen.

Beton- und Stahlbetonbau 106 (2011): Entspricht der Bauteilanschluss Neu an Alt mit Fugenbandklemmkonstruktion den anerkannten Regeln der Technik?, Heft 7. Adicon: Gesellschaft für Bauwerksabdichtungen mbH, Rödermark.

Busch, K.F. /Luckner, L. /Tiemer, K. (1993): Geohydraulik. Lehrbuch der Hydrogeologie. Band 3, Berlin.

Brombach, H. et al. (2013): Hochwasserschutzmaßnahmen, in Patt, H. /Jüpner R. (Hg.): Hochwasser-Handbuch. Auswirkungen und Schutz. 2. Auflage. Bonn, S. 316 – 481.

DIN 4030-1:2008-06. Beurteilung betonangreifender Wässer, Böden und Gase – Teil 1: Grundlagen und Grenzwerte.

DIN 4048-1:1987-01. Wasserbau – Teil 1: Stauanlagen.

DIN EN 12063:1999-05. Ausführung von besonderen geotechnischen Arbeiten (Spezialtiefbau) – Spundwandkonstruktionen.

DIN EN 12715:2000-10. Ausführung von besonderen geotechnischen Arbeiten (Spezialtiefbau) – Injektionen.

DIN EN 12716:2001-12. Ausführung von besonderen geotechnischen Arbeiten (Spezialtiefbau) – Düsenstrahlverfahren (Hochdruckinjektion, Hochdruckbodenvermörtelung, Jetting).

DIN 18195-9:2010-05. Bauwerksabdichtungen – Teil 9: Durchdringungen, Übergänge, An- und Abschlüsse.

DIN 19661-1:1998-07. Wasserbauwerke – Teil 1: Kreuzungsbauwerke. Durchleitungs- und Mündungsbauwerke.

DIN 19712:2013-01. Hochwasserschutzanlagen an Fließgewässern.

Bader, P. /Göbel J. (2006): Hochwasserschutz am Main, Sanierung der Main-Winterdeiche im Bereich Bürgel-Rumpenheim, in Dokumentation 598: Stahlspundwände (7) – Planung und Anwendung. Stahl-Informations-Zentrum, Düsseldorf, S. 45 – 52.

DWA-Themen (2005): DWA-Themen: Dichtungssysteme in Deichen. Deutsche Vereinigung für Wasserbau, Abwasser und Abfall e. V. (DWA), Hennef.

DWA-M 507-1 (2011): DWA-Regelwerk: DWA-M 507-1. Deiche an Fließgewässern – Teil 1: Planung, Bau und Betrieb. Deutsche Vereinigung für Wasserbau, Abwasser und Abfall e. V. (DWA), Hennef.

DWA-M 512-1 (2012): DWA-Regelwerk: DWA-M 512-1. Dichtungssysteme im Wasserbau – Teil 1: Erdbauwerke. Deutsche Vereinigung für Wasserbau, Abwasser und Abfall e. V. (DWA), Hennef.

DVS R 2225-1 (2016): Schweißen von Dichtungsbahnen aus polymeren Werkstoffen im Erd- und Wasserbau. Gelbdruck. Deutscher Verband für Schweißen und verwandte Verfahren e. V. (DVS), Düsseldorf.

DVS R 2225-3 (2016): Schweißen von Dichtungsbahnen aus Polyethylen (PE) bei Grundwasserschutzmaßnahmen. Gelbdruck. Deutscher Verband für Schweißen und verwandte Verfahren e. V. (DVS), Düsseldorf.

DVWK 76 (1986): Anwendung und Prüfung von Kunststoffen im Erdbau und Wasserbau. Deutscher Verband für Wasserwirtschaft und Kulturbau (DVWK). DVWK-Schriften, Heft 76, Bonn.

EAAW (2008): Empfehlungen für die Ausführung von Asphaltarbeiten im Wasserbau (EAAW). Deutsche Gesellschaft für Geotechnik e. V. (DGGT), Essen.

EAG-GTD (2002): Empfehlungen zur Anwendung geosynthetischer Tondichtungsbahnen (EAG-GTD). Deutsche Gesellschaft für Geotechnik e. V. (DGGT), Essen.

EAO (2002): Empfehlungen zur Anwendung von Oberflächendichtungen an Sohle und Böschung von Wasserstraßen (EAO). Mitteilungsblatt Nr. 85. Bundesanstalt für Wasserbau (BAW), Karlsruhe.

EAU (2012): Empfehlungen des Arbeitsausschusses „Ufereinfassungen“ Häfen und Wasserstraßen (EAU). Deutsche Gesellschaft für Geotechnik e. V. (DGGT) und Hafentechnische Gesellschaft e. V. (HTG), Essen und Hamburg.

Ferrari, H. (2012): Geotechnik im Hochwasserschutz, in: Boley, C. (Hg.): Handbuch Geotechnik: Grundlagen – Anwendungen - Praxiserfahrungen, Wiesbaden, S. 875 – 924.

Haselsteiner, R. (2007a): Geotechnische Bemessung der Dammbauwerke von Flutpoldern. Fachtagung Flutpolder - Hochwasserrückhaltebecken im Nebenschluss. Lehrstuhl und Versuchsanstalt für Wasserbau und Wasserwirtschaft, Mitteilungsheft Nr. 113, Technische Universität München.

Haselsteiner, R. (2007b): Hochwasserschutzdeiche an Fließgewässern und ihre Durchsickerung. Lehrstuhl und Versuchsanstalt für Wasserbau und Wasserwirtschaft, Mitteilungsheft Nr. 111, Technische Universität München.

Hohmann, R. (2009): Fugenabdichtung bei wasserundurchlässigen Bauwerken aus Beton, Stuttgart.

Hornich, W. /Stadler, G. (2009): Injektionen, in Witt, K. J. (Hg.): Grundbau-Taschenbuch. Teil 2: Geotechnische Verfahren, 7. Auflage, Berlin, S. 159 – 198.

Kutzner, C. (1991): Injektionen in Baugrund, Stuttgart.

LUBW (2007): Arbeitshilfe zur DIN 19700 für Hochwasserrückhaltebecken. Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg (LUBW), Karlsruhe.

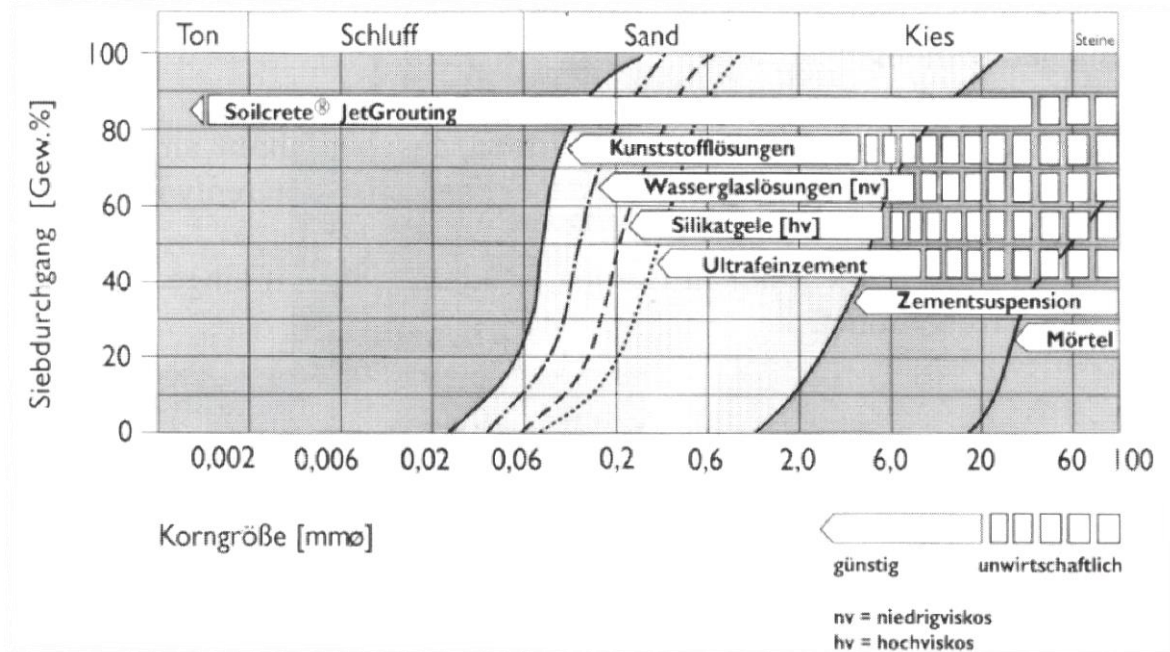
Müller, W. (2001): Handbuch der PE-HD-Dichtungsbahnen in der Geotechnik, Basel.

Richwien, W. et al. (2009): Spundwände, in Witt, K. J. (Hg.): Grundbau-Taschenbuch. Teil 3: Gründungen und geotechnische Bauwerke, 7. Auflage, Berlin, S. 279 – 352.

Saucke, U. (2006): Nachweis der Sicherheit gegen Innere Erosion für körnige Erdstoffe, in Geotechnik 29, Nr. 1, S. 43 – 54.

Anhang A - Abbildungen

A.1 Anwendungsgrenzen der Injektionsverfahren im Vergleich zum Düsenstrahlverfahren¹⁵⁹



A.2 Ausbildung eines Dichtungskragens aus bindigem Boden an einem Querbauwerk¹⁶⁰



Links: Verdichtung des Materials mittels eines Kleingerätes an geneigter Wandoberfläche.
Rechts: Dichtungskragen am Querbauwerk mit angrenzendem Stützkörper.

¹⁵⁹ Berg, 2002, S. 5.

¹⁶⁰ Eigenaufnahmen von BGS Wasserwirtschaft, Darmstadt, erhalten am 10.02.2017.

A.3 Kriterien für die Auswahl von Dichtungssystemen¹⁶¹

Aspekte	Randbedingungen
Technisch	<ul style="list-style-type: none"> – Aufbau und Beschaffenheit des Deichkörpers – Aufbau und Beschaffenheit des Untergrundes – Statische Anforderungen an die Dichtung – Zugänglichkeit – Herstellbarkeit: Befahrbarkeit des Untergrundes bzw. Deichkörpers – Lärmschutz, Emissionen und Erschütterungen (z. B. innerhalb von Bebauungen) – Unwägbarkeiten und Hindernisse im Untergrund – Anforderungen an den Anschluss an bestehende Dichtungselemente oder Bauwerke
Wirtschaftlich	<ul style="list-style-type: none"> – Bauzeit – Einheitskosten pro m² – Gesamtvolumen/-fläche (m²) der Dichtungsmaßnahme – zeitliche und technische Flexibilität bei der Herstellung

A.4 Beurteilung von Dichtungen¹⁶²

Typ der Dichtung			Kriterien					
			kontrollierbare Ausführung	Beständigkeit gegenüber mechanischem Angriff	Widerstand gegen Durchwurzelung	Erosionsbeständigkeit	Instandsetzung	Korrosion Frost
Oberflächen-dichtung	Spundwand)		0	0	+	+	+	-
	Hartdichtung (Beton u. ä.)	Einbau im Nassen	0	-	0	+	0	0
		Einbau im Trockenen	+					
	Asphalt (Einbau im Trockenen)		+	-	-	+	-	0
	Naturton (nach ZTV-W, LB 210 [17])	Einbau im Nassen	0	0	-	0	0	0
		Einbau im Trockenen	+					
	GTD	Einbau im Nassen	0	0	-	0	0	0
		Einbau im Trockenen	+					
Innen-dichtung	Schmalwand		-	-	0	0	-	+
	Spundwand		-	+	+	+	-	+
	Schlitzwand/Bohrpfahlwand		+	+	+	+	-	+
	Mixed-In-Place-Wand		0	0	0	0	-	+
	Düsenstrahlwand		-	0	0	0	-	+
	geschüttete Kerndichtung		+	+	0	0	-	+

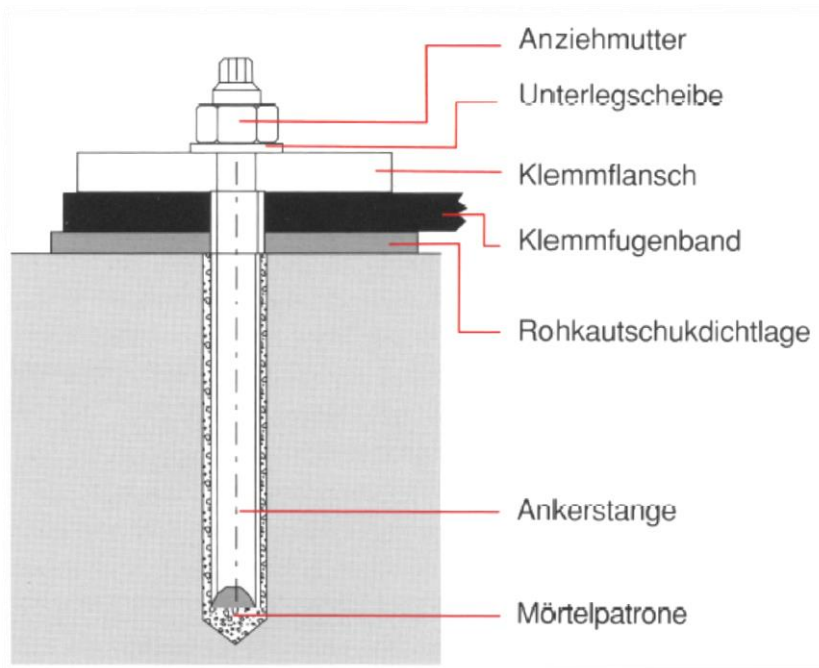
) eingebundener Teil wird wie Spundwand als Innendichtung beurteilt

„+“: gut, „-“: schlecht, „0“: neutral

¹⁶¹ Ferrari, 2012, S. 894.

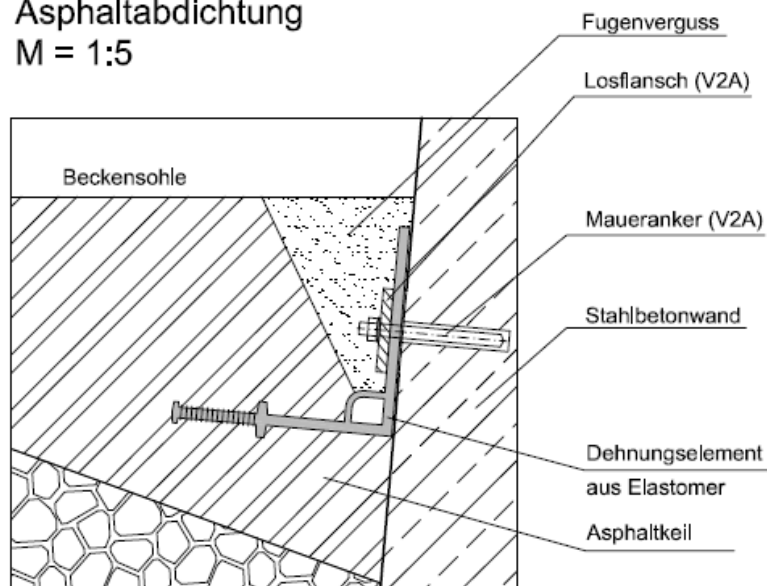
¹⁶² BAW Merkblatt MSD, 2011, S. 21.

A.5 Aufbau und Verwendung einer Klemmkonstruktion für die Anbringung eines Fugenbandes an bestehende Betonbauwerke



Aufbau einer typischen Klemmkonstruktion¹⁶³

Detail "A" Asphaltabdichtung M = 1:5



Anbindung einer Asphaltabdichtung über ein angeklemmtes Fugenband¹⁶⁴

¹⁶³ Hohmann, 2009, S. 337.

¹⁶⁴ Planungsdetail BGS Wasserwirtschaft, Darmstadt.

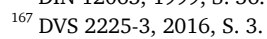
A.6 Baustelleneinrichtung für eine Injektionsmaßnahme¹⁶⁵



Zu sehen: Kolbenpumpe (links), Rührwerk (hinten links), Chargenmischer (hinten rechts), Hydraulikaggregat für die Pumpe (vorne rechts)

¹⁶⁵ DWA-M 512-1, 2012, S. 65.

- ### A.8 Anbindung einer KDB an ein Rohr aus artfremden Werkstoff mittels einer Klemmverbindung und einer Manschette¹⁶⁷



Anhang B - Begriffe

Kluftinjektion: Das Einbringen eines Injektionsmittels in Diskontinuitäten, Fugen, Klüfte und Spalten, insbesondere in Festgestein.¹⁶⁸

Permittivität: Die von der Schichtdicke unabhängige Durchlässigkeit eines Stoffes. Die Permittivität ψ liefert so einen Anhaltspunkt für die tatsächliche Wirksamkeit einer Dichtung.¹⁶⁹ Es gilt:

$$\psi = \frac{k_f}{d} = \frac{Q}{A \times \Delta h} \quad [1/s]$$

k_f = Durchlässigkeitsbeiwert [m/s]

d = Schichtdicke [m]

Q = Durchfluss [m^3/s]

A = durchströmte Fläche [m^2]

Δh = Potenzialdifferenz [m]

Poreninjektion: Die Verfüllung der Poren eines Bodens mit dem Injektionsgut unter Verdrängung des Porenwassers oder Gases. Um Verformungen zu vermeiden, kommen hierbei nur geringe Drücke zum Einsatz.¹⁷⁰

¹⁶⁸ DIN 12715, 2000, S. 4.

¹⁶⁹ DWA-Themen, 2005, S. 16.

¹⁷⁰ DIN 12715, 2000, S. 4.

Erklärung zur Bachelor-Thesis

Hiermit versichere ich, die vorliegende Bachelor-Thesis ohne Hilfe Dritter nur mit den angegebenen Quellen und Hilfsmitteln angefertigt zu haben. Alle Stellen, die aus Quellen entnommen wurden, sind als solche kenntlich gemacht. Diese Arbeit hat in gleicher oder ähnlicher Form noch keiner Prüfungsbehörde vorgelegen.

Darmstadt, den 21. April 2017

(Tobias Schilling)

